C 4460 E

Populäre Elektronik

4/79 April 1979

DM 3,-/sfr 3,50/ lfr 53,-/ ös 25,-

NF-Leistungs-Verstärker
Einführung in die Schaltungstechnik

DUT
Durchgangstester

Universelle Triac-Steuerung

Selbstbau ohne Verdrahtung

Puzzle-Verstärker

Akustischer Schalter (Geräuschschalter) Empfindlichkeit einstellbar auf div. Geräusche (z.B. Klatschen usw.) oder auf Signale des mitgelief. Pfeiftongebers. Netzanschl. 220 W. Man kann Geräte wie Fernseher, Licht, Tonband usw. bis max. 500 W anschließen.

Klatschschalter kpl. á **36,35** ab 10 Stück . . . á **28,—**
ab 3 Stück . . . . . á **34,35**

NN 35 Netzteil stufenlos regelbar von 0-35 V und der Strom von 1 mA-2 A, mit 2 Potentiometern. Die Regelung erfolgt durch das Spannungsregler IC 723 mit 2 nachgeschalteten Leistungstransistoren. Die beiden Potis für Spannung und Strom befinden sich auf der Platine. Platine 13 x 7 cm. Mit dem Stromregler kann man einen bestimmten Strom einstellen. Übersteigt der Ausgangsstrom den eingestellten Wert, so schaltet das Gerät ab.

Bausatz NN 35 . . . . . DM **32,95**
Netztrafo 2 A . . . . . DM **14,95**
Bausatz NN 35 mit Gehäuse komplett und Instrumenten . . . . . DM **109,95**
Gehäuse, leer, komplett gestanzt und bedruck (22 x 15 x 9 cm) . . . . . DM **37,50**
Fertiggerät NN 35 im Gehäuse . . . . . DM **149,50**

NETZTEIL 0 – 50 V

stufenlos regelbar, Strom max. 3,5 A, schaltet bei Kurzschluß durch einen Thyristor ab, hochkonstant durch temperaturkompensierte Referenzspannungsquelle. Änderung der Ausgangsspannung von 0 auf Vollast nur 0,005%!

Einführungspreis, Bausatz . . . . . DM **44,95**
Netztrafo passend . . . . . DM **32,95**

Passendes Gehäuse mit sämtlichen Bohrungen, beschrifteter Frontplatte . . . . . DM **49,95**

Passende Instrumente 50 V, 3 A . . . . . á DM **19,95**
Fertiggerät im Gehäuse . . . . . DM **199,95**

NEU 30 Watt FBI-Sirene
Betriebsspannung 10-25 V, auf- und abschwellender Ton, Heulton und Impulston einstellbar.
Bausatzpreis . . . . . DM **16,95**

Angebot des Monats
10 Kanallauflicht, 10 x 500 W Ausgänge, mit Netzteil, umschaltbar auf 4-6-8-10 Kanallauflicht.
Bausatz . . . . . DM **29,95**

Schwarzlicht
Lampe, 220 V~, 75 W Fassung E27 normal, kein Vorschaltgerät erforderlich **3,88**

Ab DM **8,85**

Comptalux color, Reflektorlampe, Preßglaskolben, verspiegelt, 100 W, Sockel E27, in den Farben Rot, Gelb, Grün, Blau . . . . . DM **9,90**
ab 10 St., farbig á DM **8,95**

Große farbige Reflektorlampe, 40 W, E 27-Fassung in den Farben: Rot/Blau/Grün/Gelb/Violett u. Weiß . . DM **5,95**
ab 10 Stück . . . . . á DM **4,95**

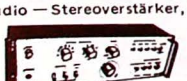
AFS-Strahlerfassung, allseitig schwenkbar, Fassung Alu, Fuß Kunststoff, für Decken- oder Wandmontage . DM **9,95**
E 27 . . . . . ab 10 Stück á DM **8,95**

LOB 18 3-Kanallichtorgel, frequenzselektiv, 4 Regler (3 Kanalregler, 1 Volumenregler), Sicherung mit Achsen und Knöpfen. Die Lichtorgel hat den spezial Übertrager und spricht dadurch auf sehr kleine Lautstärken an. Leistung 3 x 1000 W, Platine 18 x 4 cm.

Bausatz LOB 18 . . . . . DM **17,20**

Bausatz LOB 18 mit Gehäuse . . . . . DM **22,50**
Fertiggerät im Gehäuse . . . . . DM **24,95**

160 Watt HiFi — Studio — Stereoverstärker, 1 Jahr Garantie!



Technische Daten
Musikleistung: 160 W
Sinusleistung: 2 × 50 W
Klirrfaktor: 0,2 %
Intermodulation distortion: 0,2 %
Frequenz: 15-30.000 Hz ± 1dB
Signal/noise relationship: 65 dB
Schutz gegen Kurzschluß durch eingebaute Schutzsicherungen im Lautsprecher-Stromkreis
Eingänge: Phono magnet. tuner, Aux 1 + 2, Tape cinch und Dioden ((RCA + PENTA)
Ausgänge: Tape RCA + PENTA, Stereo-Kopfhörer, 2 Steckeranschlüsse 220 V 50-60 Hz, 2 paar Lautsprecher A + B

SONDERANGEBOT!
ab Lager lieferbar
HI-FI STEREO AMPLIFIER mod. BF 378
BF 378.....299,95
ab 3 Stck. a.....290,—

Controls: Lautstärke in dB, Balance, Treble, Bass, Loudness filter, Rumble filter, Scratch filter, Mono/Stereo, Muting ./. 20 dB

Power supply: 220 V, Maße: 365 × 275 × 125 mm

TRIAC-BLINKLICHT Lichtpulser Stroboskop für normale 220-V-Glühlampen bis 500 W belastbar.
Bausatz Lichtpulser . . . . . DM **15,50**

20 W Edwin mit Klangregelteil, 20 W sin., 20 Hz-20 kHz, 0,5% Klirrfaktor, Höhen-Tiefenregelung ± 18 dB.

Bausatz 20 W Edwin mit Potis Mono . . . . . DM **29,75**
Bausatz 20 W Edwin mit Potis Stereo . . . . . DM **59,50**
Fertigbaustein 20 W Edwin mit Potis . . . . . DM **39,95**
Netzteil Mono und Stereo . . . . . DM **22,50**
Stereoentzerrer für 20 W Edwin . . . . . DM **14,90**

30-W-Hi-Fi-Endstufe TE 30
Hi-Fi-30-W-Sinus-Endstufe, 20 bis 20 kHz, 0,8%, 1 V/50 K, Betriebssp. 30-40 V, 7 Halbleiter, NTC usw.
Bausatz TE 30 DM **29,85**
2 Stück . . . DM **55,—**
Mononetzteil . DM **22,50**
Stereonetzteil . DM **28,50**

40-W-Edwin-Endstufe, 1000fach bewährt, kurzschlußfest, keine Ruhestromeinsteillung, 25 Hz-1,2 MHz, 0,1% Klirrfaktor, 1 V/50 kΩ, Betriebsspannung 42 V.
Bausatz 40 W Edwin DM **39,50** 2 Stück . . DM **77,—**
Mononetzteil . . . . . DM **34,50**
Stereonetzteil . . . . . DM **45,50**

100-W-EQUA-Verstärker, 20 Hz-60 kHz, Klirrfaktor kleiner 0,07%!, dauerkurzschlußsicher, Betriebsspannung 60-80 V, 14 Halbleiter, Hochleistungskühlkörper, U eing. 0,5 V.
100-W-Endstufe EQUA 100, Bausatz . . . . . DM **55,—**
Fertigbaustein EQUA 100, geprüft . . . . . DM **88,—**

Mononetzteil DM **52,—** Stereonetzteil DM **74,—**

Hochwert. Stereo-Verstärker 100.
Stereo-Vorverstärker f. sämtliche Endstufen geeignet. 4 umschaltbare Eingänge für Tonband, Tuner, magn. Plattenspieler, frei. Lautstarke-, Hohen-, Tiefen-, Balanceregler u. Drucktasten auf der Platine. Hohen-Tiefenregelung ± 20 dB, 15-70 kHz, 25–60 V.
Bausatz Vorverstärker 100 mit Potis und Tasten DM **59,50**

Klangfilterplatine KBK
4 Tasten für Rausch-Rumpel-Sprache, Basisbreite, Poti für Basisbreite, mit Kopfhoreausgang, 14 Halbleiter.
Bausatz KBK . . . . DM **33,95**

Sonder angebot – Besonders preiswert!!

Koax-Kolbenlautsprecher „SP-500 X" (DF-12-HC-4), in verbesserter Ausführung, mit sehr gutem Wirkungsgrad für kleine und mittlere Hi-Fi-Boxen. Breitband mit eingeb. Hochtonkegel — daher gesamter Freq.-Bereich 30–20 000 Hz. Imp. 8 Ω, Belastbarkeit 20 W (max. 25 W, in geschl. Box, 5—10 l), Maße: 130 x 130 mm. Schallöffnung 110 mm ⌀ nur St. DM **14,25**
ab 10 Stück á DM **13,95**

Elektronisches Lesley, Bausatz . . . . . DM **23,95**
Funkschalter zur drahtlosen Fernsteuerung, ca. 80 m Reichweite, 220-V-Netzteil eingebaut , mit Sender, kpl. . . . . DM **89,50**
Transistorzündung, 12 V, für Pkw sämtlicher Fabrikate, Bausatz . . . . . DM **27,50**

MPX 4000 in Stereoausführung. Ein 4-Kanalmischpult mit 2 Magneteingängen, 1 Tonbandeingang und 1 Mikrofoneingang mit Hohen-Tiefenregelung zur optimalen Anpassung der Mikrofone und der Stimme. Die 2 Magneteingange schalten automatisch auf Kristalleingang um bei Anschluß eines Kristallplattenspielers. Auf der Platine befindet sich ein eingebautes Netzteil. Bestückung: 8IC. Frequenzgang: 10Hz-28KHZ. Klirrfaktor kleiner 0,15%.
Eingänge: 2x Magneteingang 2mV- 200mV.
1x Mikrofoneingang 2mV - 20mV.
1x Tonbandeingang 200mV.
Die Höhen-Tiefenregelung des Mikrofoneinganges beträgt + 18 dB. Das MPX 4000 kann als einbau- oder als Standgerät Verwendung finden.
Bausatz MPX 4000 . . . . . DM **49,95**

DISCO-LICHTORGEL 10, 3-Kanal-Lichtorgel, Baugruppe LOB 3/1000 AV, jedoch mit Schieberegler, mit Pultgehäuse, das komplett gestanzt und beschriftet ist, 3 Schukostecksdosen an der Rückseite, 3adriges Netzkabel. Gehäuse 215 x 130 x 75.
Bausatz DISCO-LICHTORGEL . . . . . DM **77,85**
Fertiggerät Disco 10 . . . . . DM **128,—**

Kojak-Horn
Elektronische Sirene im Druckkammerlautsprecher mit kraftvollen auf- und abschwellendem Tonintervall. Durch besonders starke Endstufe wird ein Schalldruck von 95 Phon/1m erreicht. Frequenz 500-2000 Hz, Signaldauer 0,7 sek. pro Impuls. Maße: 130 mm ⌀, Länge 170 mm, Spannung 12 V DC, Wetterfeste Ausführung durch Spezialschutzfilm. **29,95**

LOB 3/1000 AV, eine 3-Kanal-Lichtorgel mit einer Leistung von 3x 1000 W/220 V, 3 Regler für die einzelnen Kanäle, 1 Volumenregler. Diese Ausführung besitzt eine hervorragende Kanaltrennung, da jeder Kanal einen aktiven RC-Filter eingebaut hat. Dadurch wird eine fast unerreichte Kanaltrennung der tiefen, mittleren und hohen Frequenzen erreicht. Der NF-Eingang wird zusätzlich durch einen Transistor verstärkt. Dadurch hat diese Lichtorgel eine Eingangsempfindlichkeit von ca. 0,1 W, das bedeutet, daß ein Cassettenrecorder zur Aussteuerung voll genügt. Durch die eingebaute NF-Automatik entfällt das Nachregeln der Kanäle bei schwankender Musiklautstärke.

Bausatz LOB 3/1000 AV . . . . . DM **42,50**
Fertigbaustein 3/1000 AV . . . . . DM **54,—**
Passendes Gehäuse mit Frontplatte . . . . DM **9,50**

LO 96, Lichtorgel wie 3/1000 AV, jedoch mit gestanztem Gehause, Steckdosen, Netzkabel, NF-Buchse, Knöpfen usw.
Bausatz LO 96 DM **65,—** Fertiggerat LO 96 DM **96,50**

LIGHT 2000
Das Lichtsteuergerat Light 2000, das Gerat der Superlative. Das 4-kanalige Gerat hat eine garantierte Ausgangsleistung von je 2000 Watt. Dieses ist konzipiert für extremsten Dauerbetrieb in Discotheken, bei Kapellen, und naturlich auch fur den privaten Gebrauch, ein Lichtsteuergerat, das keine Wünsche offen laßt. Auf Lebensdauer und Storanfalligkeit wurde bei der Entwicklung strengstens geachtet
Das Gerat Light 2000 hat folgende Betriebsvariationen:
a) analoge Lichtorgel (frequenzselektiv)
b) 4-Kanal Digitallichtorgel
c) 4-Kanallauflicht
d) 4-Kanallauflicht invertierbar (Lampen werden nacheinander dunkel)
e) 4-Kanallauflicht normal und invertiert im gleichzeitigen Betrieb
f) samtliche 4 Kanale konnen bei den oben aufgefuhrten Betriebsarten gedimmert werden
Die Funktionen a-e werden mit dem Tastensatz umgeschaltet. Die Lichtorgel besteht aus der Grundplatine, auf die samtliche Baugruppen a-e aufgesteckt werden. Die Verbindungen werden mit hochwertigen AMP-Steckverbinder hergestellt. Das Gerat wird am Lautsprecher angeschlossen, hat am Eingang einen Operationsverstarker mit Automatik bei schwankender Lautstarke. Die 3 Regler gehoren zum einstellen der Eingangsempfindlichkeit, Lauflichtgeschwindigkeit und Dimmer.
Das Light 2000 arbeitet mit Nullpunktsteuerung, dadurch entfallen die Anstieg- und Abfallflanken bei der Triacansteuerung. Somit ist ein vollkommen störungsfreier Betrieb moglich. Jegliche Arten von Funkentstörung entfallt hiermit. Das Netzteil ist stabilisiert und samtliche Bauteile inkl. dem Netztrafo befinden sich auf der Platine.
Bestuckung: 22 IC, 10 Transistoren, 4 Triacs, usw. Platine 28 x 14 cm (Grundplatine).

Bausatz LIGHT 2000 komplett . . . . . DM **249,—**
Fertigbaustein LIGHT 2000 . . . . . DM **298,—**

Platinensatz (5-teilig) mit 13-seitiger Beschreibung und Oszillogrammen . . . . . DM **38,—**

Passendes Gehause komplett gelocht und mit beschrifteter Frontplatte . . . . . DM **98,95**

LIGHT 2000 betriebsbereit im Gehause mit eingebauten Steckdosen . . . . . DM **598,—**

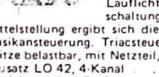
Audioskop, ein Gerat, das NF-Signale vom Radio, Tonband usw. auf dem Fernsehbildschirm sichtbar macht. Anschluß an der Antennenbuchse. Kein Eingriff am FS-Gerat.
Bausatz Audioskop . . . . . DM **14,20**
Gehause . . . . . DM **5,90**

Elektorglocke, 8 verschiedene Tone, Bausatz . DM **29,95**
Passendes Gehause . . . . . DM **9,50**

Lichtschranke mit Relais, 1200 W belastbar, Bs. DM **11,50**
Elektron. Würfel, mit roten LED-Anzeigen, Bs DM **9,80**
Passendes Gehäuse für Würfel . . . . . DM **5,20**

3fach-Sirene, auf- u. abschwellender Sirenenton, Impulston, Dauerton, mit Endstufe, Bausatz . . . . . DM **12,95**

Elektronischer Nachhall, in jedes Gerat einbaubar, f. Stereo- u. Monogerate, Hall regelbar, Bausatz . DM **23,95**
Hallspirale RE-4 DM **15,—** **Hallspirale RE-6** . . DM **11,50**



LD 42, 4-Kanal-Digitallichtorgel mit Selbststeuerung, Pauselicht, 3 Regler für Empfindlichkeit, Lauflichtgeschwindigkeit und Umschaltung Digit-Duallauflicht. Bei Mittelstellung ergibt sich die Variante. Lauflicht mit Musikansteuerung. Triacsteuerung, pro Kanal 1000 W Spitze belastbar, mit Netzteil, Knopfen, usw.
Bausatz LO 42, 4-Kanal . . . . . DM **76,—**
Fertigbaustein LO 42 . . . . . DM **89,—**
Passendes Gehäuse . . . . . DM **9,50**
Fertiggerät LO 42 . . . . . DM **169,—**

SCHUBERTH electronic
8660 Münchberg
Postfach 260 · Tel. 09251/6393
Gesamtkatalog '79 (300 Seiten) gegen 5,– DM. Sonderliste kostenlos.

Vorwort

Eule gesucht

Wenn man fast täglich mit Elektronik beschäftigt ist, so entgeht einem sicherlich die eine oder andere Tendenzwende. So brachte mich vor ein paar Tagen ein Kollege zum Nachdenken, der schlicht und einfach behauptete, daß das Elektronik-Hobby schon bald „gestorben" sein wird. Er zum Beispiel interessiere sich überhaupt nicht mehr für das Innenleben einer elektronischen Schaltung, denn dafür habe man ja seinen Mikroprozessor. Interessanter sei es vielmehr, eine Fragestellung zu formulieren und sie dann in das Programm einzuführen. Alles andere macht der Kleincomputer.

Stimmt das, ist der Lötkolben schon bald ein unnützes Requisit? Ich glaube, daß diese Entwicklung nicht stattfinden wird, denn schon ein paar Tage danach war auch mein Kollege mit seinem Mikroprozessor beim Lösen einer Aufgabe überfordert. Es ging darum, den typischen Schrei einer Eule elektronisch zu simulieren. Schaltungen, die täuschend echt einen Kanarienvogel oder einen Kuckuck nachmachen, sind schon seit Jahren bekannt. Deshalb erschien mir auch das „Eulenproblem" am Anfang durchaus lösbar. Bis heute allerdings habe ich noch keine Schaltung gefunden.

Deshalb meine Bitte an alle Elektronikbastler: Entwickeln und probieren Sie Schaltungen aus, die auf rein elektronischem Wege den typischen Schrei einer Eule simulieren. 300,- DM sind zu gewinnen. Es hat nämlich einen Grund, weshalb ich so hinter der Eule her bin. Vielleicht haben Sie schon einmal „Kopf um Kopf – das Wissenschaftsquiz des WDR" im 3. Fernsehprogramm gesehen. In dieser Sendung ist die Eule – das Symbol der Weisheit – unser Maskottchen. Der neueingeführte wissenschaftliche Schiedsrichter soll an seinem Pult die Möglichkeit haben, jederzeit in die Sendung eingreifen zu können. Eine Klingel ist uns es zu einfallslos, ein Eulenschrei soll es sein.

Deshalb sind alle Tüftler aufgerufen, bei der Problemlösung mitzuhelfen. Geld lacht für die beste Schaltung, und natürlich wird der „Erfinder" auch genannt.

Meine Adresse, an die Sie die fertige Elektronik schicken können (es muß nicht unbedingt ein Print sein):

WDR-Fernsehen
Abt. Wissenschaft
zu Hd. W. Back
Postfach 101950
5000 Köln 1

Also ran ans Basteln!

Ihr

Wolfgang Back

Populäre Elektronik

Jahrgang 4 Heft 4

In dieser Ausgabe

Leitartikel
Eule gesucht 5

Marktnotizen
DAG-Fernkurs beginnt 10
Einstellbare dreibeinige Spannungsregler jetzt in Hochvolt-Ausführung 10
Temperaturfühler 10
LED-Skalen mit LM 3914/LM 3915 11

So funktioniert das!
Digital-Voltmeter (Teil 3) 12

Schaltungsgrundlagen
NF-Leistungs-Verstärker 17

Für das Hobby-Labor
DUT
Akustischer Durchgangstester 24

Audio-Technik
Puzzle-Verstärker
Baugruppe 1: Endverstärker je 20 Watt 28

Digitaltechnik
Torzeit – Mal so, mal so? 32

Leistungselektronik
Universelle Triac-Steuerung 33

Umfrage-Auswertung
Fragebogen aus Heft 1/79: Ergebnisse, Gewinner 41

Was bedeutet...?
RIAA 42

Verschiedenes
Hitparade, Vorschau 44
Hinweis 44
Inserentenverzeichnis 8

Impressum

Populäre Elektronik erscheint jeweils Mitte des Vormonats im M + P Zeitschriften Verlag GmbH & Co, Winterhuder Weg 29, 2000 Hamburg 76
Telefon 040/ 220 15 66-69
CHEFREDAKTION
Manfred H. Kalsbach
REDAKTION
Leen van Dam, Wil Leiner, Jan Palmen, Jan Pas, Jos Verstraten
MITARBEITER
Wolfgang Back, Albert Hartfiel, Wolfgang F. Jacobi, Friedrich Scheel, Hilaneh von Kories, (Bildredaktion), Sabine Spies (Redaktionsassistenz)
VERLAGSLEITUNG
Claus Grötzschel

ANZEIGENLEITUNG
Werner Pannes
ANZEIGENVERWALTUNG
M + P Zeitschriften Verlag
Winterhuder Weg 29
2000 Hamburg 76
Telefon 040/ 220 15 66-69
Telex MEPS 21 38 63
Zur Zeit ist die Anzeigenpreisliste Nr. 5 gültig
DRUCK
Locher KG, 5000 Köln 30
REPRODUKTION
Alpha Color GmbH Hamburg
VERTRIEB
IPV Inland Presse-Vertrieb GmbH
Wendenstraße 27-29
2000 Hamburg 1, Telefon 040/ 24 861, Telex 2162401
LAYOUT
Susanne Grocholl
Sabine Schwabroh

ABONNEMENT
Inl. 12 Ausgaben DM 29,80 inkl. Bezugsgebühren, Ausl. DM 34,80. Best. beim Verlag. Kündigung spätestens 8 Wochen vor Ablauf des Abos.

© by
POPULÄRE ELEKTRONIK
GERICHTSSTAND
Hamburg
AUSLANDSVERTRETUNGEN
Österreich: Messner Ges. mbH, Liebhartsgasse 1, A-1160 Wien, Telefon 0222/92 54 88, 95 12 65
Schweiz: SMS-Elektronik, Köllikerstr. 121, CH-5014 Gretzenbach, Telefon 064/ 41 41 55

Alle in POPULÄRE ELEKTRONIK veröffentlichten Beiträge stehen unter Urheberrechtsschutz. Die gewerbliche Nutzung, insbesondere der Schaltpläne und gedruckten Schaltungen, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers zulässig. Die Zustimmung kann an Bedingungen geknüpft sein. Alle Veröffentlichungen erfolgen ohne Berücksichtigung eines eventuellen Patentschutzes. Warennamen können geschützt sein, deshalb werden sie ohne Gewährleistung einer freien Verwendung benutzt. Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Geräte kann keine Haftung übernommen werden. Rücksendung erfolgt nur, wenn Porto beigefügt ist. Die geltenden gesetzlichen und postalischen Bestimmungen hinsichtlich Erwerb, Errichtung und Betrieb von Sendeeinrichtungen aller Art sind zu beachten. Der Herausgeber haftet nicht für die Richtigkeit der beschriebenen Schaltungen und die Brauchbarkeit der beschriebenen Bauelemente, Schaltungen und Geräte.

HECK-ELECTRONICS

Aus P.E.-Heft 1:
FBI-Sirene kpl.Bauteile. incl. Lautsp..DM 13,10
P.E.-Platine SI-a . . . . . DM 4,35
Elektro-Toto-Würfel kpl. Bauteiles.mGeh..19,90
P.E.-Platine DS-a . . . . . DM 6,60
Frontplatte gebohrt und bedruckt . .DM 13,30
Transitest kpl.Bauteiles. m.Gehäuse .DM 16,50
P.E.-Platine TT-a . . . . . DM 6,75
Frontplatte gebohrt und bedruckt . .DM 13,90

Aus P.E.-Heft 2:
Carbophon kpl.Bauteilsatz. . . . . .DM 23,90
P.E.-Platine CF-a . . . . . DM 6,30
Gehäuse . . . . . DM 5,50
Spannungsquelle kpl.Bauteiles.m.T. .DM 37,50
P.E.-Platine GV-a . . . . . .DM 11,60
Frontplatte gebohrt und bedruckt . .DM 17,80
Gehäuse TEKO P 3 . . . . . DM 5,90
TESTY kpl.Bauteiles.m.Gehäuse. . . . DM 7,70
Frontplatte gebohrt und bedruckt . .DM 13,50

Aus P.E.-Heft 3:
Die totale Uhr kpl. Bauteilesatz . . . .DM 85,50
P.E.-Platine DK-a+b. . . . . .DM 19,60
Gehäuse TEKO 333. . . . . .DM 10,50
50-Watt-Verstärker in Modultechn. 1 Kanal incl. Stereonetzteil . . . . . DM 106,50
P.E.-Platine PA-a . . . . . .DM 10,95
Bauteile f.d. 2. Kanal(Stereo) . . . . .DM 57,00
Frontplatte geb. u. beschrift.(pos.o.neg.)11,15
Die Kassette im Auto kpl. Bauteilesatz mit Gehäuse und Platine . . . . . .DM 10.10

Aus P.E.-Heft 4:
Codeschloß kpl.Bauteilesatz . . . . . .DM 21,60
P.E.-Platine ES-a . . . . . DM 7,15
LED-VU-Meter (Modultechnik) kpl. Bauteilesatz je Kanal . . . . . .DM 23,50
P.E.-Platine VU-a . . . . . DM 9,35
Frontplatte geb.u.beschrift.(pos.o.neg)11,65
MIKRO -2 (Signalhorn) kpl.Bauteiles.DM11,89
P.E.-MIKRO Hauptplatine MI-a. . . . DM 8,50
P.E.-MIKRO Trimmerplatine MI-b . . DM 4,95
MIKRO-1(Blinker) Baut. m.Platine . .DM 13,40
Gehäuse m.Gleitmutterkanälen f. P.E.-Moduls. Größe 300...DM 49,60/Größe 500 **DM64,90**

Neu aus P.E.-Heft 4 und 5/78.NEU NEU
SNOBBY-Geräuschschalter
Bauteilesatz Hauptprint mit Mikro . .DM 28,70
Platine Snobby-a . . . . . DM 9,90
Bauteilesatz Netzteilprint . . . . . .DM 39,80
Platine Snobby-b . . . . . DM 9,80
Bauteilesatz Steuerprint . . . . . .DM 29,90
Platine Snobby-c . . . . . DM 9,70

Aus P.E.-Heft 5:
Tremolo kpl.Bauteilesatz. . . . . .DM 42,40
P.E.-Platine TR-a . . . . . DM 13,85
Frontplatte geb.u.beschrift.(pos.o.neg.)15,35
je 14 Lötstifte u.Steckhülsen,5 IC-Fass.4,48
Minimix kpl. Bauteilesatz . . . . . .DM 38,80
P.E.-Platine MM-a . . . . . DM 12,90
Gehäuse TEKO 334. . . . . DM 13,10
PUFFI kompl.Bauteilesatz. . . . . DM 3,70
P.E.-Platine BU-a . . . . . DM 6,40
Gehäuse ALU ausreichend f.2.Platinen. . . 3,55

Aus P.E.-Heft 6:
Signal-Tracer kpl m. Knöpfen und Fassungen, Bauteilesatz . . . . . .DM 24,90
P.E.-Platine SV-a . . . . . DM 13,95
Frontplatte gebohrt und bedruckt . .DM 22,90
Gehäuse TEKO P/4 . . . . . .DM 11,00
TV-Tonkoppler kpl.Bauteilesatz . . .DM 20.90
P.E.-Platine TV-a . . . . . DM 12,55
Gehäuse TEKO 333. . . . . DM 10,50
LESLIE (Modultechnik) Bauteiles. . . DM 2,90
P.E.-Platine TR-b . . . . . DM 6,35
Frontplatte geb.u.beschrift.(pos.o.neg.)9,00

Aus P.E.-Heft 7:
Basisbreite-Einstellung kpl. Bauteilesatz lt. Stückliste,m.Zubehör. . . . . .DM 19,40
P.E.-Platine BB-a . . . . . DM 9,10
Frontpl.pos.o.neg. . . . . .DM 12,85
TTL-Trainer Bauteiles.m.Kabel . . . .DM 51,90
P.E.-Platine DT-a . . . . . DM 29,00
Gehäuse P/4 . . . . . DM 11,00
MIKRO-4 (Flip-Flop) Bauteiles.kpl.. . DM 6,90
P.E.-MIKRO-4 Hauptprint MI-a. . . . DM 8,50

Aus P.E.-Heft 8:
Superspannungsquelle kpl. Bauteilesatz lt. Stückliste m.Instr.,Knöpfen usw. . . DM 113,70
P.E.-Platine SSQ. . . . . DM 13,10
Gehäuse SSQ m.Kühlkörper,Rückw. .DM 39,80
Mini-Uhr m.Maxi-Display,Bauteiles. .DM 38,90
P.E.-Platine DK-c/d. . . . . .DM 10,95
Spez.Uhrengehäuse m.Plexi-Scheibe . DM 5,75
Loudness-Filter kpl.Bauteiles. . . . . DM 13,85
P.E.-Platine FV-a . . . . . DM 9,70
Frontpl.pos.o.neg. . . . . .DM 11,00

Aus P.E.-Heft 1/78:
Sinusgenerator (Modul) kpl.Bauteiles. DM27,50
P.E.-Platine SG-a . . . . . .DM 14,10
Frontplatte FN-SG-a . . . . . .DM 17,30
n-Kanal-Lichtorgel Hauptprint Bautelesortim. kpl.lt.Stückliste . . . . . .DM 20,80
je Kanal lt. Stückliste . . . . . .DM 12,50
P.E.-Basisplatine LO-c . . . . . DM 8,30
P.E.-Kanalplatine LO-d. . . . . DM 5,00
Grundausst. Plat.1xLO-c:3xLO-d. . .DM 19,00
Lichtdimmer Bauteiles.kpl.lt.Stückl. .DM 21,90
P.E.-Platine LD-a . . . . . DM 6,80
Gehäuse TEKO 3/B. . . . . DM 3,90

Aus P.E.-Heft 2/78:
Rauschfilter i.Modultechnik Bauteiles.DM14,90
P.E.-Platine RF-a . . . . . DM 8,90
P.E.-Frontplatte pos.o.neg. . . . . DM 11,60
Goliath-Display Bauteile lt.Stückl. . .DM 17,70
P.E.-Platine UD-a/b. . . . . .DM 10,10
Pausenkanal für n-Kanal-Lichto. Baut..DM11,50
P.E.-Platine LO-e . . . . . DM 5,00

Aus P.E.-Heft 3/78:
Spannungslupe Bauteile lt.Stückl. . . .DM 16,30
P.E.-Platine SL-a . . . . . DM 5,25
Gehäuse TEKO p/2. . . . . DM 4,40
Rechteckzusatz z.Sinusgenerator Baut.DM 16,90
P.E.-Platine SW-a . . . . . DM 7,80
P.E.-Frontplatte FN-SW-a . . . . . DM 9,15
Goliath-Stromversorgung Baut.m.TrafoDM47,90
P.E.-Platine GV-e . . . . . .DM 13,90

Aus P.E.-Heft 4/78:
Hall i.Modultechnik lt.Stückl.m.OPA. DM36,90
P.E.-Platine RV-a . . . . . DM 8,90
P.E.-Frontplatte pos.o.neg. . . . . .DM 12,85
O.P.A.Operationsverstärker Bauteiles. .DM8,90
P.E.-Platine OP-a . . . . . DM 5,35
LOGIC-PROBE Baut. lt.Stückl. . . . DM 8,50
P.E.-Platine LT-a . . . . . DM 5,05

Aus P.E.-Heft 5/78:
Peace-Maker lt.Stückliste. . . . . .DM 13,90
P.E.-Platine PM-a . . . . . DM 5,90
Gehäuse . . . . . DM 4,40
Digitalmeter i.Modultechnik Bauteiles. .DM79,90
P.E.-Platine DM-a/b. . . . . .DM 19,35
P.E.-Frontplatte FN-DM-a . . . . . .DM 19,50
DC-Vorsatzlt. Stückl. . . . . .DM 12,90
Frontplatte FN-DM-b. . . . . DM 9,15

Aus P.E.-Heft 6/78:
Digital-Analog-Timer Bauteilesatz. . .DM 59,90
P.E.-Platine UT-a . . . . . .DM 18,00
P.E.-Gehäuse geb.und bedruckt . . . .DM 17,00
Sensorschalter Baut.lt.Stückl. . . . . .DM 14,90
P.E.-Platine TT-b . . . . . .DM 10,20
L.E.D.S. Bauteile lt.Stückliste. . . . . DM 7,90
P.E.-Platine LE-a . . . . . DM 6,90

Aus P.E.-Heft 7/78:
Ohm-Meter-Vorsatz Bauteilesatz . . .DM 24,90
P.E.-Platine DM-c. . . . . DM 7,85
P.E.-Frontplatte FN-DM-c . . . . . .DM 10,20
Würfeln m.Goliath Bauteilesatz . . . .DM 14,90
P.E.-Platine UD-c . . . . . DM 6,10
Elektronisches Tauziehen Bauteiles. .DM 49,90
P.E.-Platine EG-a . . . . . .DM 14,25
Gehäuse TEKO P/3. . . . . DM 5,90
Netzstecker-Stromversorgung 9V . . .DM 14,50

Aus P.E.-Heft 8/78:
Infrarot-Empfänger Bauteilesatz . . .DM 48,80
P.E.-Platine IR-b . . . . . .DM 11,80
Gehäuse Ormatu Typ BIM2003. . . . DM 5,40
Gehäuse Amtron Typ KG-6-ST . . . . DM 5,20
Infrarot-Sender Bauteilesatz . . . . . .DM 19,90
P.E.-Platine IR-a. . . . . DM 5,90
Gehäuse Typ BIm 2003 . . . . . DM 5,40
Zener-Tester Bauteilesatz . . . . . .DM 39,90
P.E.-Platine ZT-a . . . . . DM 7,70
Frontplatte zum Zenertester aus P.E. gebohrt und bedruckt . . . . . DM 17,80
Gehäuse TEKO 362. . . . . DM 8,75
H.E.L.P. Laborprint UP-a . . . . . .DM 22,50

Aus P.E.-Heft 9/78:
Syndiatape Bauteilesatz lt. Stückl. . . .DM 31,80
P.E.-Platine SY-a . . . . . .DM 14,70
Gehäuse . . . . . .DM 10,90
Schwesterblitz Bauteile lt. Stückl.. . .DM 19,50
Platine FL-a . . . . . DM 4,50
Gehäuse . . . . . DM 3,35
Kontaklosses Relais Bauteiles. . . . . DM 10,80
P.E.-Platine RY-a . . . . . DM 4,90

Aus P.E.-Heft 10-11/78
Scheibenwischer-Intervallschalter
Baut. lt. Stückl. . . . . .DM 34,70
Platine WA-a. . . . . .DM 11,10
Gehäuse mit Montageteilen . . . . . .DM 6,90
Automatikzusatz incl. Platine RB-a. .DM 16,50
Regensonde, Baut. lt. Stückliste. . . .DM 11,90
Platine RB-a . . . . . .DM 8,80
Gehäuse mit Montageteilen . . . . . .DM 8,90
Auto-Akku-Lader Bauteile lt. Stückl..DM 87,30
Platine AK-a . . . . . .DM 11,10
Metall-Gehäuse . . . . . .DM 34,90

NEU aus P.E.-Heft 12/78:
Power Blink-Zentrale Bauteilesatz DM 10,50
Platine KL-a DM 6,90
Anpassungsverstärker Bauteilesatz DM 19,80
Platine BU-a DM 6,40
Gehäuse TEKO 3/B. DM 3,90
MONITOR-VERST. Bauteilesatz . . DM 44,90
2 x O.P.A. dazu Bauteilesatz. . . . DM 17,80
2 x Platine OP-a . . . . . DM 10,70
Platine OP-b . . . . . DM 16,90
Stabilisiertes Netzteil 25 V/2,2 A. . DM 54,90
Platine MA-a. . . . . DM 8,80
Unstab. Netzteil +/- 30 V/3,5 A. . DM 62,50
Platine MA-b. . . . . DM 7,80
Komplett-Netzteil mit Montagemat. DM 109,80

Aus P.E.-Heft 1/79:
Spannungsteiler mit Gehäuse, Bauteilsort. . . . . DM 9,70
Platine OP-C . . . . . DM 5,30
O.P.A. dazu mit Platine OP-a, Bauteilesort. . . . . DM 14,25
Anti-Lichtorgel, Bauteilesort. . . . . DM 19,90
Platine LO-b . . . . . DM 6,25
Für Gehäuseeinbau Gehäuse mit Bauteilen zusätzl. DM 16,80
Goliath-Steuereinheit, Bauteilesort. DM 24,90
Platine UD-d . . . . . DM 12,95
Goliath-Digitaluhr (4 Zähldekaden, Steuereinheit, Netzteil mit sämtl. Platinen) kpl. DM 198,-
Gehäuse-Acryl (wie Abb. in P.E.) . . DM a.A.

Aus P.E.-Heft 2/79:
Mini-Midi (MW-Empfänger) o. Batt. Bauteilesort. . . . . DM 24,80
Gehäuse TEKO P/2 . . . . . DM 4,40
Platine MR-a . . . . . DM 7,15
DC-Fuge (Überstrom-Sicherung) Bauteilesort. . . . . DM 12,90
Platine EF-a . . . . . DM 8,25
Frequenzzähler 79 m. Montageteilen (o. Netzteil) Bauteilesort. . . . . DM 218,-
Platine FZ-a . . . . . DM 23,75
Netzteil zum FZ 79, Bauteilesort. . . DM 59,70
Platine FZ-b . . . . . DM 17,-
Gehäuse 8009 m. geb. + bedr. Frontplatte . . . . . DM 39,95

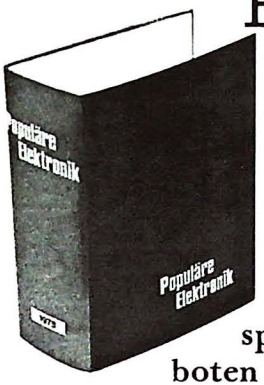
Aus P.E.-Heft 3/79:
Goliath's Woche, Bauteilesort. . . . DM 12,90
Platine UD-e . . . . . DM 11,50
Rumpelfilter-Modul, Bauteilesort. . DM 22,90
Platine DF-a . . . . . DM 11,75
Frontplatte DF-a positiv oder negativ DM 12,35
Eichspannungsquelle ESQ . . . . . DM 88,70
Platine ESQ . . . . . DM 12,20
Gehäuse mit geb. + bedr. Frontplatte DM 29,90

aus P.E.-Heft 4/79:
Puzzle-Verst., Endstufe (1 Kanal). . DM 15,90
Durchgangstester DUT . . . . . DM 4,00
Universelle Triacsteuerung. . . . . .DM 4,95

5012 Bedburg
Morkenerstr. 20 · Tel. 02272 · 3294

Ein tolles Angebot!

P.E.plus Sammelordner! Sie sparen über 25%!



Jetzt gibt es die Möglichkeit, so günstig wie noch nie P.E.- Abonnent zu werden. Denn Sie können über 25% dabei sparen! Und das Heft wird Ihnen dann vom Postboten ins Haus gebracht; immer etwas früher als am Kiosk.

Rechnen Sie doch mal nach: 12 mal P.E. am Kiosk kosten DM 36,–. Der neue praktische Sammelordner im größeren Format für einen ganzen Jahrgang kostet DM 11,80. Macht zusammen DM 47,80.

Wenn Sie jetzt abonnieren, erhalten Sie P.E. und Sammelordner für zusammen nur DM 38,–.

Sie können aber auch die Zeitschrift ohne Sammelordner abonnieren und sparen dabei auch noch über 17%! Wer jetzt abonniert und wem Heft 1/79 oder 2/79 in seiner Sammlung fehlt, der erhält 12 mal P.E. plus Sammelordner plus Heft 1/79 oder 2/79 für nur DM 38,– das sind über 25% Ersparnis!

Wichtig: Dieses Angebot gilt nur für Neuabonnenten. Wer bisher schon P.E.-Abonnent ist, soll vom P.E.-Abonnenten-Vorzugspreis profitieren können: Der praktische Sammelordner kostet dann nur DM 9,80!

Das sind die Vorzüge eines P.E.-Abonnements

- Über 17% Preisersparnis gegenüber dem Preis am Kiosk.
- Vom Postboten ins Haus gebracht, immer etwas früher als am Kiosk.
- Kein Gerichtsvollzieher, wenn man mal die Kündigung vergessen hat und P.E. nicht weiter haben will.
- Sammelordner und Buchbestellung zum P.E.-Abonnenten-Vorzugspreis.

☐ Ja, ich möchte über 25% sparen und abonniere P.E. plus Sammelordner plus ☐ Heft 1/79 oder ☐ Heft 2/79

☐ Ich möchte P.E. plus Sammelordner abonnieren und über 20% sparen.

☐ Ich möchte nur P.E. ab sofort abonnieren und über 17% sparen.

☐ Ich bin P.E.-Abonnent und möchte den Sammelordner zum P.E.-Abonnenten-Vorzugspreis von DM 9,80 incl. Porto und Verpackung bestellen.

☐ Ich zahle auf Postscheck-Konto
291626-509 Köln
M+P Zeitschriften
Verlag GmbH & Co.

☐ Ich zahle per Scheck

..... Name, Vorname

..... Unterschrift

..... Ort

..... Straße

Kostenlos

gibt's jetzt von Deutschlands großem Electronic-Versender diese neue SONDERLISTE mit sagenhaften Sonderangeboten, exzellenten technischen Neuheiten u. Preissenkungen bei vielen elektron. Bauteilen u. Geräten. Per Postkarte anfordern - Liste mit 40 Seiten kommt sofort !

CONRAD ELECTRONIC

8452 Hirschau
Grundstraße 31 Fach 1251
Ruf 09622/1081

Inserentenverzeichnis

Aktronik 8
Conrad 8
Electronic-Hobby-Shop EHS III
Heck-Electronics 6
M + P . . . . . 7, 9, IV
Richter 8
Schuberth II
Stuttgarter Messe- u. Ausstellungs GmbH 8
Wersi. 8

Wie wird aus Elektronik Musik?

Wir zeigen es Ihnen! Gratisprospekt oder großen Informationsset (mit LP von Klaus Wunderlich und 100 S. Farbkatalog) anfordern, bei Vorauszahlung Sonderpreis 10 DM.

WERSI Orgeln + Bausätze
Industriestr. 6 E · 5401 Halsenbach · Tel. 0 67 47/71 31

Der interessante Absatzmarkt für Ihre Produkte

Eltro-Hobby 79
Fachausstellung für Hobby-Elektronik und Mikro-Computer
Vom 3. bis 7. Oktober 1979 im internationalen Messegelände Stuttgart Killesberg

Der Einzugsbereich dieser neuartigen Fachausstellung umfaßt ganz Süddeutschland mit den angrenzenden Bundesländern und Nachbarstaaten. Anspruchsvolles -Tüfteln- als Hobby wird hier ganz groß geschrieben! Fordern Sie umgehend die Anmeldeunterlagen an

Stuttgarter Messe- und Ausstellungs-GmbH Postfach 990 Am Kochenhof 16 D-7000 Stuttgart 1 Telefon 0711/2093-1 Telex 0722584 emb

SPOTTBILLIG!

Gr. Widerstands-Sort. 250 Stück 0,25-5W. 10 DM-Schein beifügen. Franz Richter, Schillerstr. 19, 4445 Neuenkirchen

AKtronic

ELEKTRONISCHE BAUELEMENTE
Alfred Kaup
Heckenweg 28 a
4401 Saerbeck
Tel.:02574/8224

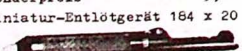
BIS ZU 40,-- DM SPAREN SIE
WELLER-MAGNASTAT-Lötkolben WTCP
mit kompl. Station in 24 V-Ausführg. vergoßenem Trafo mit eingeb. Schalter und Kontrollicht, Sciherung, Lötkolbenhalter und Schwamm
bei uns nur 94,80 DM
Chromdioxyd-Cassetten C60 2,95 DM
Chromdioxyd-Cassetten C90 3,95 DM
Reinigungs-Cassetten 2,65

MS 2000
STEREO-Mischpult
7-Kanäle-Stereo
2xMike(hoch/niederohmig)
1xPhono/Magn.
1xPhono/Magn/Ker.
1x Aux, 20 - 20000 Hz, 9 V Batt. o. ext. Netzteil, Gew.: 1,8 kg, Abm.: 25 x 19 x 4,5 cm
Sonderpreis 89,50 DM
MS 3000 baugleich mit MS 2000, jedoch mit Abhörverstärker (auf jeden Kanal schaltbar) u. LED-Betriebsanzeige. DM 104,80

ECM 541 - Elektret-Kondensator-Mike für drahtlose Übertragung, 100 Hz - 10 KHz, Imp. 600 Ohm, Rundumcharakteristik, 1,5 V Batterie, Windschutz FM-Teil: 88-106 MHz, Hub 35 KHz, Reichweite 50 m, Ant. 0,3m, Stromaufnahme 3mA bei 1,5 V DM 64,90

NC - Batterie NC450
Nickel-Cadmium-Akku 1,2 V, 450 mAh Mignon-Zelle
Sonderpreis 3,10 DM

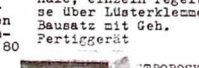
Miniatur-Entlötgerät 164 x 20 mm



24,95 DM

SUPER-COLOR-FERNSEHSPIEL
6 Spiele:Tennis, Hockey, Squash, Handball, Tontaubenschießen, Tr.-jagd. Zählvorrichtung im Bild, 2 Ballgeschwindigkeiten und Schlägergrößen, getreue Spielgeräusche aut. und manuell spielbar mit 2 Perbedienungen und Pistole
Sonderangebot 89,--

FERNSEH+SPIEL s/w
wie obiges Modell, jedoch mit 4 Spiele und ohne Pistole
nur 49,-- DM

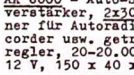


LAUFLICHT 4 K
4 x 500 Watt
Regelbare Laufgeschwindigkeit. Anschluß über Lüsterklemmen
Bausatz mit Geh. 38,50 DM
Fertiggerät 49,80 DM

Lichtorgel 6 K
6 x 500 Watt
Stereo-Lichtorgel mit 2 x 3 Kanäle, einzeln regelbar, Anschlüsse über Lüsterklemmen
Bausatz mit Geh. 37,-- DM
Fertiggerät 49,-- DM

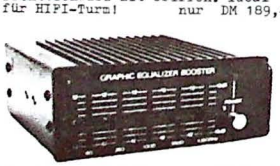
STROBOSKOP 100 W/sek.
Regelbar von 1 - 15 Blitze/sek. Geh. mit eingeb. Reflektor.
Fertiggerät 48,90 DM

Effekt-Lichtschlauch als Bausatz. 2 Meter langer, transparenter PVC-Schlauch mit ca. 30 bunten Lämpchen. Kompl. Transistor-Lauflicht-steuerung. Betriebsspannung 12 V nur DM59,--



AK 6000 - Auto-Stereo-Leistungsverstärker, 2x30 Watt, Nachbrenner für Autoradios, Cassettenrecorder usw. getr. Bass- und Höhenregler, 20-20.000 Hz, 4-8 Ohm, 12 V, 150 x 40 x 120 mm. nur DM 89,--

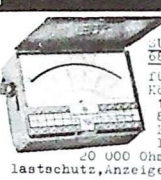
HGS 220 - HIFI-Stereo-Graphic-Equalizer mit 10 einstellb. Frequenzen. 30-60-120-240-500Hz-1-2-4-8-16 KHz, jeweils ±12dB. Klirrfaktor 0,05%. 2 Eingänge für Tape u.Aux.,mit Monitorschalter, DIN-Buchsen, formschönes Gehäuse: 380x66x200 mm. Frontschwarz mit Griffen. Ideal für HIFI-Turm! nur DM 189,--



GSE 707 - Graphischer 50 Watt-Stereo-Auto-Verstärker-Equalizer. 5 Überblendregler für 60-250 Hz-1-3,5-10 KHz, 2x25 W, Eing.-Imp.: 10-40 Ohm, Ausg. 4-8 Ohm,30-30 KHz, Filter: ±12 dB. Maße: 150x60x145mm. nur DM 148,00

Drahtlose Wechselsprechanlage. An jede Netzsteckdose 220 Volt ohne weiter Verkabelung anzuschließen. Kurzsprechtaste, Dauersprechtaste einrastbar. Neu:Ruftontastatur. Kontrollampe mit Lautstärkeeinsteller. Maße: 190x105x55 mm, Paar nur DM 109,--

Feinlötkolben 20 Watt, 220 V, mit Schutzkontakt. nur DM 12,90
Lötzinn - 100 g, 60/40, auf Rolle
1 mm Ø, DM 3,80
dito - 250 g DM 8,50
dito - 1 kg DM 32,80



SUPERTESTER 680 R
für Kenner und Könner
10 Meßarten mit 80 Meßbereichen
Endwert-Verdopplung
20 000 Ohm/V, Stat. Überlastschutz, Anzeigentol. ± 1 %
Gleichspg. 100 mV - 2 kV (13 Ber.)
Wechselspg. 2 - 2,5 kVeff (11 ")
Gleichstr. 50 uA - 10 A (12 ")
Wechselstr. 250 uA - 5 A (10 ")
Widerstand 1 - 100 MOhm (6 ")
Innenwid. 5 kOhm.....10 MOhm
NF-Spang. 10 V - 2,5 kVeff dB in 10 Bereichen
Kapazität in 6 Bereichen
Abm.:133 x 105 x 55, Gew.:300 g
Zubehör: Kunstst.-Tragetui mit Tragbügel als Schrägstellstütze 2 Meßkabel mit Prüfspitzen, 2 Aufsteck-Kroko-klemmen, Kurzschlußbügel, Ohmmeterbatterie 3 V Netzanschlußkabel, Bed.-anleitg. 4 Res.- sicherungen. 116,-- DM

Party-Lichtorgel-Set

1 Set besteht aus:
1 Steuergerät 3x1000 W
3 farb. Refl.-strahler mit Alu facettenschirm u. 25 W - Kopfspiegellampe DM 64,90

BIS ZU 40,-- DM SPAREN SIE
WELLER-MAGNASTAT-Lötkolben WTCP
mit kompl. Station in 24 V-Ausführg. vergoßenem Trafo (Siemens) mit eingebautem Schalter u. Kontrollicht, Sicherung, Weller - Bodenplatte mit Halter u. Abstreifschwamm. DM 94,80

P.E. Print- und Front-Shop

Auswahl der zur Zeit lieferbaren Prints

Ausgabe 1/79		
Goliath-Digitaluhr	UD-d	12,95
Anti-Lichtorgel	LO-b	6,25
Elektr. Spannungsteiler	OP-c	5,30
Ausgabe 2/79		
DC-Fuse	EF-a	8,25
Mini-Midi	MR-a	7,15
Frequenzzähler '79	FZ-a	23,75
Netzteil zum FZ '79	FZ-b	17,00
Ausgabe 3/79		
Eichsp.-quelle	ESQ	12,20
Rumpelfilter-Modul	DF-a	11,75
Goliath's Woche	UD-e	11,50

Auswahl der zur Zeit lieferbaren Frontplatten

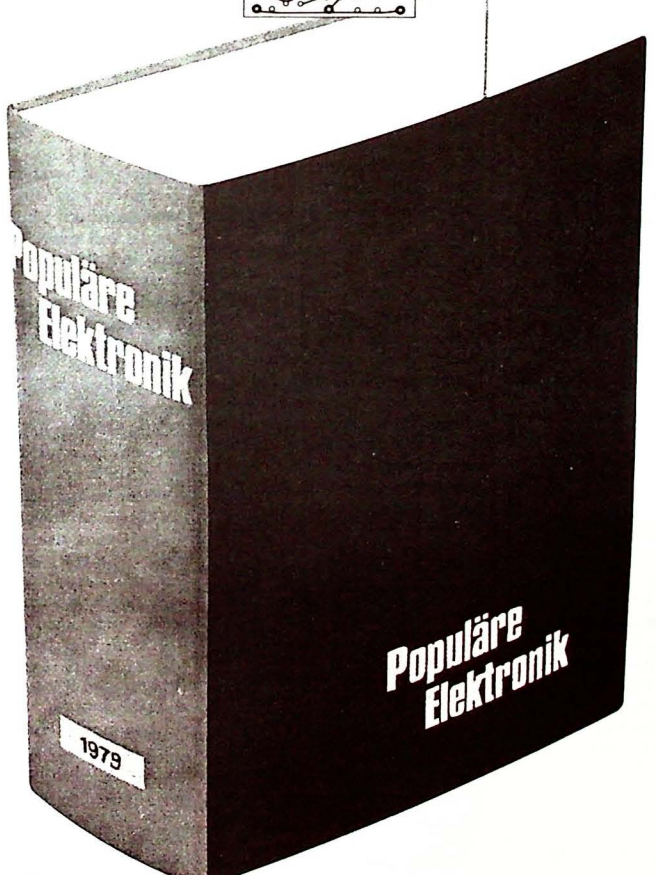
Ausgabe 5/78		
Digitalmeter-Meßmodul	FN-DM-a	19,50
Gleichspannungs-vorsatz zum DM	FN-DM-b	9,15
Ausgabe 7/78		
Ohmmeter-Vorsatz zum DM	FN-DM-c	10,20
Ausgabe 3/79		
Rumpelfilter-Modul	FP-DF-a	12,35
dito, negativ	FN-DF-a	12,35

P.E. — Prints und Frontplatten sind im Fachhandel erhältlich. Lieferung erfolgt auch nach Einsendung eines Schecks oder gegen Vorauszahlung auf Postscheckkonto Hamburg, 33 22 87 — 208 M + P Zeitschriften Verlag

Printvertrieb für die Schweiz:
SMS — Elektronik, Köllikerstraße 121, CH - 5014 Gretzenbach, Tel. 064/41 23 61

Print — Vertrieb für Österreich:
Messner & Co., Liebhartsgasse 1, A - 1160 Wien, Tel. 0222/92 54 88, 95 12 65

Der "Neue" für Populäre Elektronik



Ab sofort kann man den neuen Sammelordner für 1979 bestellen.

Das neue Format beträgt 22,5 cm breit, 29 cm hoch und ca. 5,5 cm tief. Damit können Sie PE von Anfang an in diesem stabilen und praktischen Ordner aufbewahren. Und zwar alle 12 Hefte eines Jahrgangs.

Also nicht vergessen:

Den stabilen und repräsentativen Sammelordner in roter Farbe gleich bestellen. Lieferung in ca. 4-5 Wochen. Für nur DM 11,80 im großen Format, inklusive Porto und Verpackung. Bitte untenstehenden Coupon benutzen:

Populäre Elektronik
Abt. Sammelordner
Postfach 760246,
2000 Hamburg 76

Ich bestelle.....Sammelordner zu DM 11,80 p. Stück

Zahlung:

☐ mit Briefmarken anbei

☐ per Scheck

☐ per Postscheck auf Kto. 332287-208 Hamburg M+P Zeitschriften Verlag

Name: .....

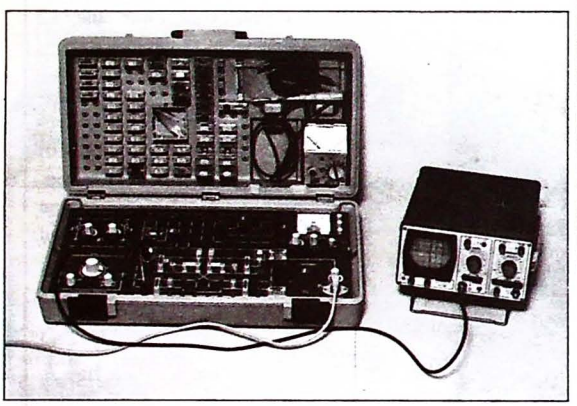
Anschrift: .....

.....

Fernkurs beginnt

Eilige Information:
Wer noch einmal die Schulbank drücken will und sich beeilt, kann evtl. noch an dem Modell-Fernlehrgang „Elektronik" teilnehmen, den die DAG ab April durchführt.

Der Kurs dauert 18 Monate, eine Abschlußprüfung ist vorgesehen. Staatliche finanzielle Förderung ist möglich.
Information: DAG-Technikum, Gutenberstr. 5, 6457 Maintal 2, Telef. (06194) - 62913



Spannungsregler jetzt in Hochvolt-Ausführung

Die einstellbaren dreibeinigen Spannungsregler des bekannten Typs LM 317 (positiv) und LM 337 (negativ) sind nunmehr auch in einer Hochvolt-Ausführung erhältlich, sie tragen die Typenbezeichnung „LM 317 HVK (Steel)" bzw. „LM 337 HVK (Steel)". Die Eingangsspannung darf max. 60 Volt betragen, die Ausgangsspannung ist in einem Bereich von 1,25 Volt...57 Volt einstellbar. Die Regler liefern einen garantierten maximalen Ausgangsstrom von 1,5 A, alle weiteren Eigenschaften wie Überlastschutz, Strombegrenzung usw. entsprechen denen der Standardregler. Hervorzuheben ist die ausgezeichnete Brumm-Unterdrückung von 77 dB. Der Hersteller kann die im Datenblatt aufgeführten Eigenschaften in vollem Umfang garantierem, da die Regler vor Auslieferung unter Lastbedingungen „eingefahren" werden.

Temperaturfühler

Halbleiterbauelemente haben eine unerwünschte Eigenschaft, sie driften mit der Temperatur; die temperaturabhängige Wanderung des Arbeitspunktes macht sich besonders störend bei Z-Dioden bemerkbar. Daher bemühen sich die Hersteller, die Temperaturdrift bei Halbleiter-Bauelementen so niedrig wie möglich zu halten. Ganz anders verhält es sich bei den Temperaturfühlern LM 135, LM 235 und LM 335, sie sind geradezu auf ein bestimmtes Driftverhalten hingezüchtet. Diese integrierten Schaltkreise verhalten sich wie eine Z-Diode, deren Durchbruchspannung mit genau 10 mV pro ^{0}K driftet. Dabei wird ein möglicher Fehler durch alterungsbedingte Veränderungen im Driftverhalten durch eine trickreiche Innenschaltung eliminiert.

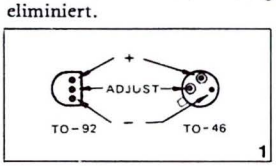
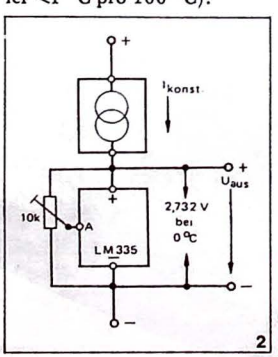


Bild 1 zeigt die Pinbelegung beider Ausführungsformen (auf den Gehäuseboden gesehen). Die Schaltkreise haben unterschiedliche Arbeitsbereiche: –55 ^{0}C...+150 ^{0}C bei LM 135, –25 ^{0}C...+100 ^{0}C bei LM 235 sowie bei LM 335 0 ^{0}C...+100 ^{0}C. Der dynamische Innenwiderstand der Schaltkreise beträgt weniger als 1 Ohm, der Arbeitsstrom kann zwischen 200 µA und 5 mA liegen, ohne daß sich die guten Eigenschaften merkbar verändern. Die Ausgangsspannung weist eine ausgezeichnete Linearität auf (Fehler <1 ^{0}C pro 100 ^{0}C).



Bei typischen Thermometer-Anwendungen empfiehlt es sich, die Temperaturfühler aus einer Konstantstromquelle zu speisen, und zwar mit einem möglichst niedrigen Strom. Bild 2 zeigt eine Anwendungsschaltung. Niedriger Arbeitsstrom der Temperaturfühler ist wichtig, weil vermieden werden muß, daß sich der Temperaturfühler selbst aufheizt und damit „hausgemachte" Meßfehler erzeugt. Für die Schaltung nach Bild 2 empfiehlt der Hersteller einen Konstantstrom von 900 µA bei +25 ^{0}C. Dieser Strom teilt sich dann auf in etwa 300 µA durch das Trimmpoti und etwa 600 µA Arbeitstrom für den Temperaturfühler.
Da sich die Ausgangsspannung der Fühler nach der Formel

$$U_{aus} = 0{,}01\ V \cdot T$$

(T in ^{0}Kelvin) verhält, gestaltet sich der Abgleich recht einfach. Der Fühler wird bei 0 ^{0}C (Eiswasser) mit Hilfe des 10 k-Ohm-Trimmpotis auf genau 2,73 V Ausgangsspannung abgeglichen, dann ändert sich die Ausgangsspannung um genau 10 mV pro ^{0}C.
In Bild 2 ist der Temperaturfühler „schwebend" eingezeichnet, d.h. der Fußpunkt liegt nicht auf Massepotential. Damit soll angedeutet werden, daß der Fühler sich beispielsweise in Meßanordnungen einfügen läßt, bei denen die Anzeige der abgefühlten Temperatur direkt in Celsius-Graden erfolgen soll. Dazu ist in dem System eine Potentialverschiebung um 2,73 V (ganz genau: 2,732 V) erforderlich, die sich mit einem schwebenden Fühler einfach realisieren läßt.
Die Auslesung der gemessenen Temperatur kann mittels analoger Zeigerinstrumente erfolgen, digitale Auslesung ist ebenfalls möglich. Dazu können Digitalvoltmeter dienen, aber auch ein Frequenzzähler kann hier gute Dienste leisten, wenn man zwischen Fühler und Zähler einen „Dolmetscher" in Form eines Spannungs/Frequenz-Umsetzers schaltet. Ein solcher Umsetzer könnte z.B. mit dem IC LM 331 aufgebaut werden, siehe dazu P.E. Heft 2/79, Seite 9.
LM 135/235/335, Nat. Semic.

LED-Skalen mit LM 3914/3915

Mit den monolithisch integrierten Schaltkreisen LM 3914 und LM 3915 lassen sich Leuchtskalen aufbauen, deren Länge aus jeweils 10 LEDs pro IC besteht. Da die ICs kaskadierbar sind, können bis zu 100 LEDs zu einer Skala vereinigt werden.

Die Anzeige kann wahlweise als wandernder Leuchtpunkt oder als Leuchtband erscheinen, die Betriebsart ist extern einstellbar. Das IC LM 3914 weist gleichmäßige (lineare) Anzeigeschritte auf, beim LM 3915 sind die Schritte logarithmisch gestuft. Die Helligkeit der LEDs ist mit Hilfe eines externen Widerstandes programmierbar, Vorwiderstände für die einzelnen LEDs sind nicht erforderlich.

Beide Schaltkreise enthalten 10 einzelne Komparatoren, deren nichtinvertierende Eingänge über einen genauen zehnstufigen Spannungsteiler aus einer einstellbaren internen Referenzspannungsquelle gesteuert werden. Der Einstellbereich für den LED-Strom liegt zwischen 2 mA und 30 mA, die Ausgänge können gleichzeitig eine LED und einen Transistor treiben. Über die Transistoren lassen sich beispielsweise zusätzliche LEDs steuern, die einen bestimmten Arbeitsbereich markieren.

Das vereinfachte Blockschaltbild des LM 3914 (Bild 1) soll zur Erläuterung der Arbeitsweise dienen. Die analoge Eingangsspannung, sie kann im Bereich von 0 Volt bis 12 Volt liegen, gelangt zunächst über eine Schutzschaltung aus einem 20 kOhm-Widerstand und einer Diode an den hochohmigen (nichtinvertierenden) Eingang eines Pufferverstärkers. Der Überspannungsschutz ist so ausgelegt, daß Überspannungen bis zu ± 35 V dem IC keinen Schaden zufügen können.

Der Pufferverstärker arbeitet als Spannungsfolger, sein Ausgang steuert die invertierenden Eingänge der 10 Komparatoren. Jeder der 10 nichtinvertierenden Komparatoreingänge liegt jeweils an einem am Abgriff eines Spannungsteilers, der aus der internen Referenzspannungsquelle gespeist wird: somit liegen an diesen Eingängen unterschiedliche und genau abgestufte Referenzspannungen.

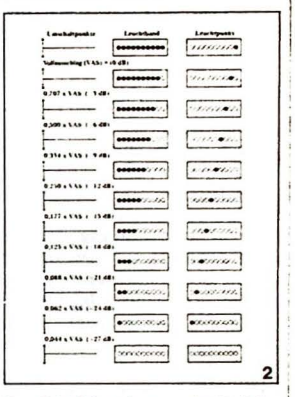
In Bild 1 ist die Widerstandskette mit der internen Referenzspannung von 1,25 V verbunden, in diesem Fall beträgt jeder Spannungsschritt der Eingangsspannung 125 mV. Das bedeutet: Erreicht die Eingangsspannung 125 mV, so wird die erste LED aktiviert, bei 250 mV Eingangsspannung die zweite LED und so fort.

Da der Spannungsteiler über die Pins 4 und 6 frei zugänglich ist, lassen sich die Spannungsschritte mit Hilfe der einstellbaren internen Referenzspannungsquelle oder mittels externer Referenzspannung nach Wunsch programmieren, und zwar in einem Bereich, der zwischen 0 Volt und $+U_b$ – 1,8 Volt beträgt.

An Pin 9 wird die Betriebsart – Leuchtband oder Einzelpunkt – eingestellt, Leuchtband- oder Thermometerskala ergibt sich, wenn Pin 9 mit + U_b (Pin 3) verbunden ist, ist hingegen Pin 9 mit Pin 11 verbunden, so erfolgt Anzeige mit wanderndem Leuchtpunkt. Die Übergänge von einem Leuchtpunkt zum anderen sind weich fließend, auf diese Weise wird vermieden, daß die Anzeige bei starken Spannungssprüngen unruhig flackert.

Die Komparatorausgänge sind so ausgelegt, daß sie an Stelle der LEDs auch TTL- oder MOS-Logikschaltkreise steuern können, somit ist die Realisierung von Lichteffekten und Lichtorgeln mit Hilfe dieser ICs möglich.

Der LM 3915 LED-Skalen-Treiber ist eine interessante Variante des LM 3914, der herausragende Unterschied besteht in der -3 dB-Abstufung der Schaltschritte gegenüber der linearen Unterteilung beim LM 3914. Wie Bild 2 zeigt, sind in der Betriebsart „Thermometerskala" alle LEDs eingeschaltet, wenn die Eingangsspannung den Anzeigebereich überschreitet. Sinkt die Eingangsspannung ab, so wird jeweils eine LED pro 3 dB Spannungsabfall *ab*geschaltet. Ist beispielsweise die Eingangsspannung auf einen Betrag abgesunken, der zwischen 0,088 Vollausschlag (-21 dB) und 0,062 x V. (-24 dB) liegt, so leuchten bei der Betriebsart „Thermometerskala" nur 3 LEDs, bei Betriebsart „Punktanzeige" leuchtet dann nur die dritte LED. Anwendungsmöglichkeiten, Abgleich und Auslegung der Schaltung für bestimmte Eingangsspannungen finden sich im Datenblatt LM 3914.



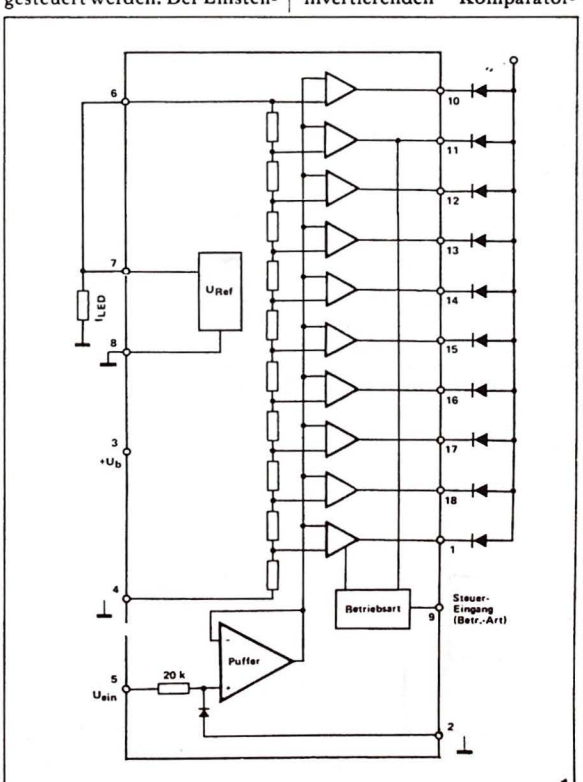
2

Der LM 3915 kann mit Gleich- und *Wechsel*spannung gesteuert werden. Bei Audio-Signalen ist weder Gleichrichtung noch Begrenzung erforderlich, auch Wechselspannungskopplung ist überflüssig. Man braucht nur den Audio-Ausgang mit dem Signaleingang des LM 3915 zu verbinden, um eine logarithmische Anzeige zu erhalten.

Einige typische Anwendungen für den LM 3915 sind: Anzeige der Ausgangsleistung in Stereo-Systemen, VU-Meter in Kassettenrekordern Tonbandgeräten, S-Meter in Amateurfunk- und CB-Geräten sowie Belichtungsmesser mit Auslesung in Blenden- oder Belichtungszeit-Schritten. Es ist möglich, zwei LM 3915 zu kaskadieren, um den Anzeigebereich auf 6o dB zu erweitern.

Das 12seitige Datenblatt enthält acht weitere Anwendungsbeispiele mit Schaltungsvorschlägen und ausführlichen Dimensionierungshinweisen.

LM 3914 DOT/BAR-DISPLAY-Driver,
National Semiconductor, Industriestraße 10, 8080 Fürstenfeldbruck



1

So funktioniert das!
Digital-Voltmeter
(Teil 3)

Die zweite Folge dieser Beitragsreihe in der Märzausgabe schloß mit dem Blockbild eines Digitalvoltmeters, das sich aus den vorher besprochenen Funktionsgruppen zusammensetzte und für Gleichspannungsmessung geeignet war.
Wie aus diesem Blockbild ein brauchbares DVM wird, zeigt dieser Beitrag. Hierbei werden auch die Verfahren gezeigt, die das DVM für die Messung von Gleichstrom, Widerstand und Wechselgrößen geeignet machen.

Obwohl das Blockbild des DVM, Bild 16 in der letzten Ausgabe, nicht gerade durch Einfachheit auffällt, ist sein Inhalt doch nur ein Teil eines vollständigen Digitalmeters, nur ein Block unter vielen anderen.
Die Grundschaltung des besprochenen A/D-Wandlers (Analog/Digital-Umsetzers) kann nur eines messen: Gleichspannung. Aus einer Gleichspannung an seinem Eingang erzeugt der A/D-Wandler eine in der Länge variable, zur Spannung proportionale Impulskette.
Der Meßbereich für die Gleichspannung hat ziemlich enge Grenzen. Die meisten A/D-Wandler weisen einen Bereich von ca. 1 Volt auf. Damit soll gesagt werden: Die Schaltung kann Spannungen zwischen Null Volt und 1 Volt in eine Impulskette umwandeln. Am Ausgang erscheinen je Meßzyklus 0...1000 Impulse, wenn der A/D-Wandler einen Umsetzungsfaktor von 1000 Impulse pro Volt hat.
Die Länge der Impulskette wird gemessen, indem ein digitaler Zähler die Impulse zählt, die während eines Meßzyklus' auf seinen Eingang gelangen. Siehe dazu auch den Beitrag „Torzeit - mal so, mal so?" in dieser Ausgabe. An den Zähler schließt sich ein Display zur Meßwertanzeige an.
Dieses „Grundmuster" eines DVMs ist in Bild 17 dargestellt, die Schaltung eignet sich bereits für die Messung kleiner Gleichspannungen im Bereich 0...1 V.
Das reicht natürlich nicht, denn einige 100 Volt sollten schon „drin" sein. Ausserdem darf man nicht außer Acht lassen, daß die meisten A/D-Wandler einen relativ kleinen Eingangswiderstand haben. Ein Meßgerät für Spannungen muß aber, damit es brauchbar ist, einen möglichst großen Eingangswiderstand aufweisen, damit die Schaltung, in der man mißt, nicht durch die Messung beeinflußt wird und der Meßfehler klein bleibt.
Das Spannungsmeßgerät - sei es ein Vielfachinstrument oder ein digital arbeitendes Gerät - entzieht der zu untersuchenden Schaltung einen Strom, der dort einen Spannungsabfall erzeugt und die zu messende Spannung verringert; in extremen Fällen kann die zu untersuchende Schaltung völlig „aus dem Tritt" kommen. Der Betrag des Stromes, den man der Meßschaltung entzieht, hängt vom Eingangswiderstand des Meßgerätes ab. Man ist deshalb bemüht, ihn so groß wie möglich zu machen, damit bei gegebener Spannung am Meßpunkt der entnommene Strom möglichst klein ist.
Ein digitales Meßinstrument mißt in der Regel genauer als ein Zeigerinstrument, deshalb muß der Meßfehler, der vom endlichen (= nicht unendlichen) Eingangswiderstand des Gerätes verursacht wird, beim DVM kleiner sein, der Eingangswiderstand entsprechend größer. Im nächsten Abschnitt wird gezeigt, wie man die Grundschaltung aus Bild 17 für die Messung allgemeiner Gleichspannungen geeignet machen kann.

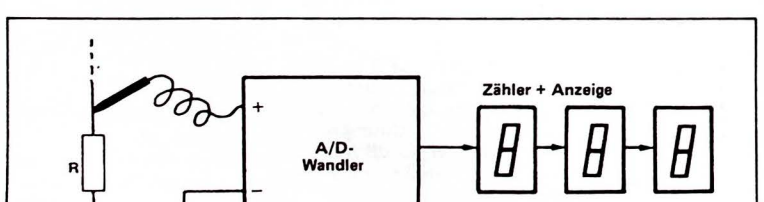


Bild 17. *Der Analog/Digital-Wandler setzt eine Gleichspannung an seinem Eingang in eine Impulskette um, deren Länge zur Gleichspannung proportional ist. Der Zähler addiert die Impulse und bringt das Meßergebnis zur Anzeige.*

Messen von Gleichspannungen

Die erste und naheliegendste Ergänzung ist die Erweiterung des Meßbereiches, damit auch höhere Gleichspannungen gemessen werden können.
Bild 18 zeigt den einfachen Trick, der es im Prinzip zuläßt, beliebig hohe Gleichspannungen zu messen. Das Meßsignal liegt an einem Spannungsteiler aus den Widerständen R1 und R2.
Nach dem Ohmschen Gesetz fließt durch die Widerstände ein Strom, wenn Eingangsspannung anliegt. Dieser Strom erzeugt an den beiden Teilwiderständen je einen Spannungsabfall; die Summe aus beiden Spannungen entspricht der Eingangsspannung, während das Verhältnis der Teilspannungen dem Verhältnis der Widerstandswerte entspricht. Haben z.B. R1 und R2 denselben Widerstandswert, so verteilt sich eine Eingangsspannung von z.B. 10 Volt gleichmäßig auf die beiden Teilwiderstände, d.h. über jedem Widerstand beträgt die Spannung 5 Volt.

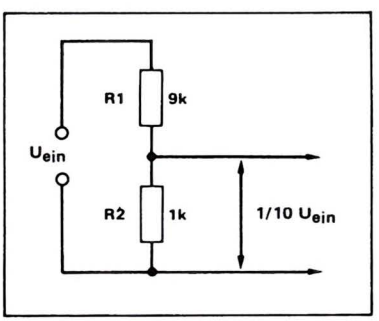


Bild 18. *Diese einfache Schaltung, ein Spannungsteiler, ist das Modell für die Mimik, die aus einem A/D-Wandler mit nachgeschaltetem Zähler ein brauchbares DVM macht. Der begrenzte Meßumfang des DVMs wird auf höhere Spannungsmeßbereiche erweitert.*

In Bild 18 ist ein anderes Widerstandsverhältnis gewählt, R1 hat den neunfachen Wert von R2. Auch die Spannung über R1 ist neunmal so groß. Damit ist es gelungen, eine Spannung um den Faktor 10 herabzusetzen oder „durch 10" zu teilen. Die Rechnung stimmt: R1 hat den Wert 9 k-Ohm, R2 ist 1 k-Ohm. An R1 steht demnach 9/10 der Eingangsspannung, an R2 steht der Rest, 1/10.
Schließt man den Eingang des A/D-Wandlers aus Bild 17 über den Anschlüssen von R2 an, so kann man bereits bis 10 Volt Gleichspannung messen. Beträgt die Eingangsspannung z.B. 5 Volt, so

zeigt das Digital-Display zwar nur 0,5 Volt an, aber wenn man das Komma mit Hilfe eines Umschalters für den Dezimalpunkt um eine Stelle nach hinten schiebt, stimmt die Anzeige mit dem Meßwert überein.
Nach diesem Beispiel für die Erweiterung des Meßbereiches kann die vollständige Eingangsschaltung eines Digitalvoltmeters für Gleichspannungen untersucht werden.

Bild 19 zeigt eine solche Schaltung. Das auffälligste Bauelement ist der Schalter S1, ein Umschalter mit vier Stellungen. Aufgrund der gewählten Dimensionierung des Mehrfach-Spannungsteilers ergeben sich folgende Meßbereiche: 1 Volt, 10 Volt, 100 Volt und 1000 Volt (1 kV). An den Eingangsklemmen liegt der aus vier Widerständen aufgebaute Spannungsteiler. In Schalterstellung 1 liegt die nachfolgende Schaltung (darüber später mehr) unmittelbar an der positiven Meßbuchse des Eingangs, die Meßspannung gelangt in voller Höhe auf das elektronische „Meßwerk". Parallel zum Eingang liegt die Reihenschaltung der Spannungsteilerwiderstände. Ihr Gesamt-Widerstandswert beträgt 1 Meg-Ohm, das ist ein ausreichend hoher und üblicher Wert, somit belastet der Spannungsteiler den Meßpunkt nicht in unerträglichem Maße.
Bringt man den Bereichumschalter in Stellung 2, dann wird der Spannungsteiler wirksam. Sein oberer Teilwiderstand besteht aus R1, sein unterer aus der Reihenschaltung R2 + R3 + R4. Zählt man die Einzelwerte zusammen, so erhält man mit 100 k-Ohm einen Wert, der 1/9 von R1 beträgt. Damit ist die Situation aus Bild 18 wieder gegeben: 1/10 der Eingangsspannung gelangt auf die Meßelektronik, die am „Ausgang" des Schalters angeschlossen ist. Damit hat Schalterstellung 2 den Meßbereich 10 Volt.
Steht der Schalter in Stellung 3, so entsteht ein anderer Spannungsteiler. Der obere Teilwiderstand setzt sich seriell aus R1 und R2 zusammen, es ergibt sich ein Gesamtwert von 990 k-Ohm. Der untere Teilwiderstand setzt sich aus R3 und R4 zusammen, hier beträgt der Gesamtwiderstand 10 k-Ohm. Die beiden wirksam werdenen Teilerwiderstände stehen somit im Verhältnis 99:1, dies bedeutet, daß der Schalter in dieser Stellung 1/100 der Eingangsspannung zur nachfolgenden Elektronik weitergibt. Bei einer Eingangsspannung von 100 Volt beträgt die weitergegebene Spannung 1 Volt. Zur Stellung 3 des Schalters gehört somit der Meßbereich 100 Volt.
Steht der Schalter in dieser Stellung und legt man eine Meßspannung von z.B. 75 Volt an die Eingangsbuchsen, so erscheint am Eingang des A/D-Wandlers eine Spannung von 0,75 Volt. Dieser Wert fällt in den Meßbereich des „rohen", unbeschalteten A/D-Wandlers.
In Stellung 4 des Schalters beträgt - wie

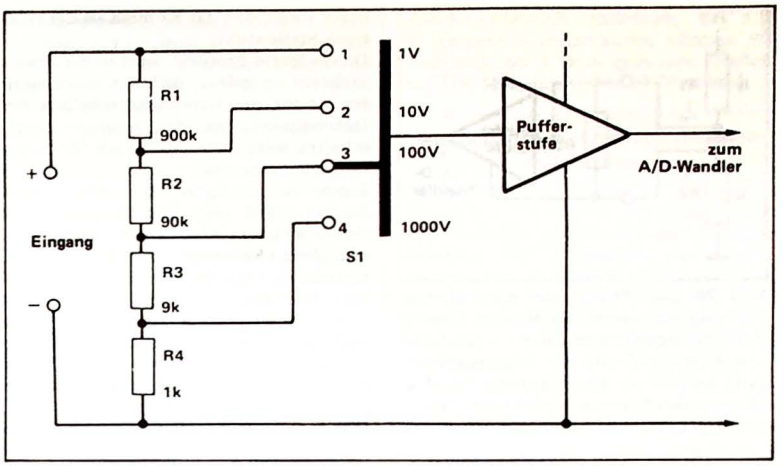


Bild 19. *Mit einem zweckmäßig abgestuften, umschaltbaren Spannungsteiler können Meßbereiche mit „glatten" Bereichs-Endwerten vorgegeben werden.*

man schnell nachrechnen kann - das Verhältnis der Widerstände 999:1, somit ist dies der Meßbereich 1000 Volt.
Am Ausgang (Mutterkontakt des Schalters) liegt nicht unmittelbar der Eingang des A/D-Wandlers, sondern eine zwischengeschaltete Elektronik namens „Pufferstufe", die zur Anpassung des Wandler-Eingangswiderstandes an den Spannungsteiler dient. Diese Zusatzmaßnahme ist erforderlich, wie man leicht einsehen kann.
Ein Blick zurück auf Bild 18 zeigt, daß das vorgesehene Spannungsteilerverhältnis nur dann stimmt, wenn parallel zu R2 kein anderer Widerstand liegt, der einen Widerstandswert in der Größenordnung von R2 hat oder wesentlich niederohmiger ist. Ein solcher Widerstand würde das Teilerverhältnis verfälschen.
Der Eingang des A/D-Wandlers liegt in Bild 18 parallel zu R2, da er zu niederohmig ist, muß eine Pufferstufe zwischen Spannungsteiler und Wandler.
In Bild 19 sind die Schalterstellungen 2 und 3 noch viel kritischer, hier würde ein niederohmiger Wandlereingang das Teilerverhältnis in noch viel stärkerem Maße beeinflussen.
Die Pufferstufe kann dank den Mitteln der modernen Elektronik einen Eingangswiderstand von bis zu 1000 Meg-Ohm haben. Das reicht ohne Einschränkung.
Der Ausgang der Pufferstufe ist niederohmig, so daß der A/D-Wandler, wie er in der letzten Folge besprochen wurde, hier angeschlossen werden kann. Da mit dem Spannungsteiler und dem Umsetzungsfaktor des Wandlers bereits eine ganz bestimmte Proportionalität zwischen Meßspannung und Anzeige hergestellt wurde, darf die Pufferstufe nicht an der Spannung „drehen", sie muß einen Verstärkungsfaktor 1 haben. Die Elektronik bietet Schaltungen mit Einzeltransistoren und OpAmps an, die „automatisch", also ohne Einstellarbeiten, den Verstärkungsfaktor 1 haben.
Abschließend noch eine Bemerkung über die Toleranzen der im Spannungsteiler verwendeten Widerstände. Es ist klar, daß das Spannungsteilerverhältnis sich in der Praxis nicht nach den Widerstandswerten richtet, die auf ein solches Bauelement aufgedruckt sind, sondern nach den tatsächlichen Werten. Diese können in einem bestimmten Toleranzbereich von den Nennwerten abweichen, so gibt es 5%-, 1%- und 0,1%-Widerstände. In einem DVM sind meistens 0,1%-Typen zu finden.

Messen von Gleichströmen

Das Ohmsche Gesetz muß auch herhalten, wenn es darum geht, mit einem (digitalen) Voltmeter Ströme zu messen.
Das Gesetz besagt nämlich u.a., daß ein unbekannter Strom an einem bekannten Widerstand einen Spannungsabfall erzeugt, dessen Betrag zur Stromstärke proportional ist. Stellt man die Spannung durch Messen fest, so kennt man mittelbar auch den Strom, da er sich aus Spannung und Widerstand errechnen läßt. Diese Art der Strommessung sieht in der Praxis so aus, daß man den Stromkreis, in dem man messen will, an einer Stelle unterbricht, einen (Meß-)Widerstand in den Stromkreis bringt und an diesem den Spannungsabfall mißt.
Bild 20 zeigt dieses Prinzip. Es soll der Strom gemessen werden, der in einem Stromkreis fließt, in dem u.a. die beiden Widerstände R1 und R2 liegen. Zwischen den beiden Widerständen wird der Stromkreis aufgetrennt (das passiert auch bei der Strommessung mit Vielfachinstrument, ist also nichts besonderes), und zwischen die so entstandenen freien Enden des Stromkreises legt man den Meßwiderstand R3. Ist er drin, so kann der Strom wieder fließen.

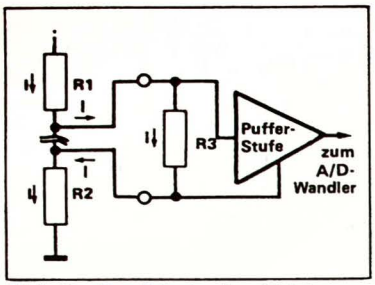


Bild 20. *Das Prinzip der Gleichstrommessung mit einem DVM. Der Eingang des A/D-Wandlers mit der vorgeschalteten Pufferstufe ist für Spannungsmessung präpariert. Also läßt man den Meß-Strom durch einen bekannten Widerstand fließen und mißt die Spannung.*

Allerdings ist einiges zu berücksichtigen. Der Wert von R3 muß möglichst klein sein, weil in dem Stromkreis, dessen Strom gemessen werden soll, irgendwo eine Spannungsquelle ist, die den Strom liefert. Alle Widerstände im Stromkreis bestimmen mit darüber, welchen Betrag der Strom hat; der zusätzliche Widerstand R3 kann, wenn er zu hochohmig ist, den Strom so stark vermindern, daß ein unerträglich hoher Meßfehler entsteht.
Weiterhin ist zu beachten, daß der Widerstandswert so gewählt wird, daß ein einfacher Zusammenhang zwischen gemessener Stromstärke und Anzeige zustande kommt. Ein Beispiel: Beträgt der Meßwiderstand 1 Ohm (Bild 20) und zeigt das (digitale) Voltmeter 0,45 Volt, so beträgt der Strom

$$I = \frac{U}{R}$$

$$= \frac{0{,}45 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$$

$$= 0{,}45 \text{ Ampere}$$

Indem man dem Meßwiderstand einen Wert gibt, der als Maßzahl eine Potenz von 10 hat ($10^0 = 1$) hat, spart man sich die Umrechnung. Die Anzeige gibt den Stromwert unmittelbar an, wenn man dafür sorgt, daß das Komma an der richtigen Stelle steht.
Dieses letzte Problem wird in der Praxis meistens so gelöst, daß mit einer zweiten Ebene des Bereichsumschalters der Dezimalpunkt in der Anzeige umgeschaltet wird. Dies gilt auch für Spannungsmessung usw.
Einen vollständigen Strom-Meßvorsatz für ein DVM zeigt Bild 21. Auch hier findet sich der Umschalter für die verschiedenen Strommeßbereiche. In Schalterstellung 1 hat der Meßwiderstand den Wert 0,1 Ohm. Mit einem gewöhnlichen 1 Volt-A/D-Wandler hinter der Pufferstufe kann man in Bereich 1 somit Ströme bis 10 Ampere messen. Dieser Strom erzeugt an einem Widerstand 0,1 Ohm den Spannungsabfall 1 Volt.
In der zweiten Schalterstellung liegt ein Meßwiderstand von 1 Ohm im Stromkreis, es können somit Ströme bis 1 Ampere gemessen werden. In Stellung 3 des Schalters „macht" ein 10 Ohm-Meßwiderstand aus 100 Milliampere 1 Volt, und zur Schalterstellung 4 schließlich gehört ein Meßbereich von 10 Milliampere. Am Meßwiderstand entsteht unabhängig vom Meßbereich eine Spannung von maximal 1 Volt. Das ist reichlich viel, somit kann die eine oder andere Schaltung, in der man nach diesem Verfahren den Strom messen will, in ihrer Funktion erheblich gestört werden.
Dieser Nachteil läßt sich nur beseitigen, indem man den A/D-Wandler empfindlicher macht, d.h. ihm einen höheren Umsetzungsfaktor gibt. Wenn er z.B. bei einer Eingangsspannung von 0,1 Volt statt 1 Volt bereits 1000 Impulse je Meßzyklus erzeugt, können die Widerstandswerte im Spannungsteiler (Bild 21) alle um den Faktor 10 herabgesetzt werden.

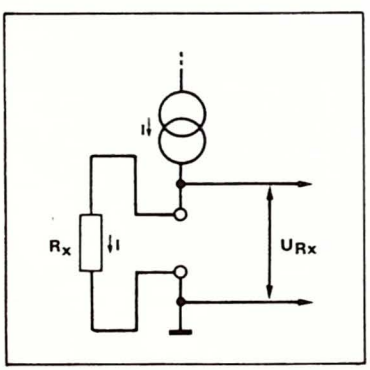


Bild 22. *Zum Messen von Widerständen dient hilfsweise eine Konstantstromquelle, die einen bekannten Strom durch den unbekannten Widerstand fließen läßt. Der Spannungsabfall U_{Rx} über Rx ist ein Maß für den Widerstandswert.*

Messen von Widerständen

An ein Digital-Meßgerät wird heute allgemein die Forderung gestellt, daß es auch Widerstände messen können muß. Auch bei der Widerstandsmessung wird wieder das Ohmsche Gesetz hervorgekramt. Wenn durch einen unbekannten Widerstand ein Strom mit bekanntem Betrag fließt, so ist die Spannung über dem Widerstand proportional zu seinem Widerstandswert. Aus Strom und Spannung läßt sich der Widerstandswert berechnen.
Allerdings ist hier die Sache etwas schwieriger als bei der Strommessung. Denn man kann zwar irgendwo Meßwiderstände kaufen und weiß dann, welchen Wert man in der Hand hat, aber fertige Ströme bekommt man so leicht nicht.
Vorläufig sei angenommen, wir hätten schon so einen Strom mit genau bekanntem Wert. Dieser Strom I fließt in Bild 22 durch den unbekannten, zu messenden Widerstand Rx.
Da der Widerstand ja unbekannt ist, kann er alle möglichen Werte haben, er kann hoch- oder niederohmig sein. Trotzdem muß immer derselbe Strom fließen, denn er dient als feste, bekannte Bezugsgröße. Ein solcher Strom, der unabhängig vom Widerstandswert im Stromkreis fließt, heißt Konstantstrom, die Elektronik, die den Konstantstrom erzeugt, heißt Konstantstromquelle.
Wählt man für den Konstantstrom einen glatten Wert, z.B. 1 Milliampere oder 0,01 Milliampere, so hat die Spannung, die am unbekannten Widerstand entsteht, in der Maßzahl dieselbe Ziffernfolge wie der Widerstandswert. Das Komma bringt später der Bereichsumschalter wieder an die richtige Stelle.
Ein Beispiel. Der Konstantstrom wird auf 1 Milliampere festgelegt. Dieser Strom erzeugt an Rx einen Spannungsabfall von 1,15 Volt. Das Ohmsche Gesetz liefert für diesen Fall den Widerstandswert

$$R = \frac{U}{I}$$

$$= \frac{1{,}15 \text{ Volt}}{1 \text{ mA}}$$

$$= 1{,}15 \text{ k-Ohm}$$

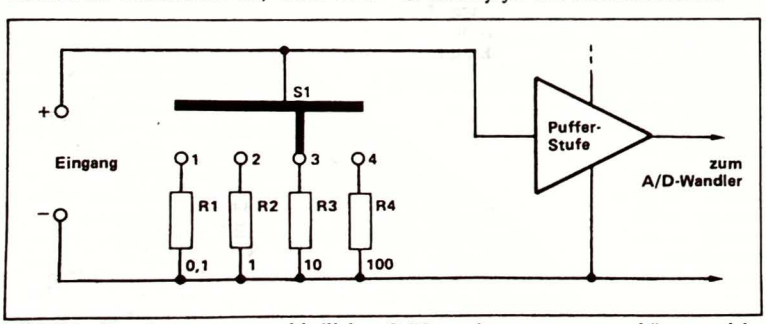


Bild 21. *Um Ströme unterschiedlicher Größenordnung messen zu können, sieht man mehrere unterschiedliche, umschaltbare Meßwiderstände vor.*

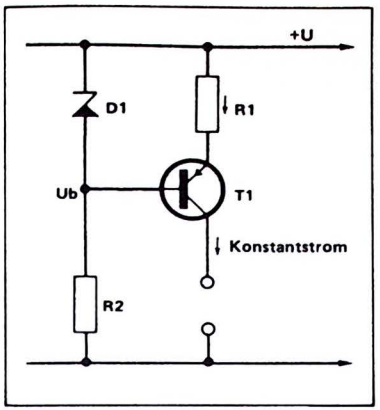


Bild 23. *Zur Widerstandsmessung dient eine Konstantstromquelle. Sie besteht aus einer Z-Diode D1, in der über den Widerstand R2 der Zenerstrom fließt, aus dem Transistor T1 und seinem Emitterwiderstand R1. Der Konstantstrom wird in seiner Höhe von der Z-Spannung und dem Wert des Emitterwiderstandes bestimmt, er erzeugt an dem unbekannten Widerstand, der an den Klemmen angeschlossen ist, einen Spannungsabfall, der proportional zum Wert des unbekannten Widerstandes ist. Der Eingang des A/D-Wandlers wird über dem zu messenden Widerstand angeschlossen.*

Soll der angezeigte Wert in k-Ohm ausgedrückt werden, so muß mit einem zusätzlichen Sektor des Bereichsumschalters das Komma zwischen die erste und die zweite Ziffer gesetzt werden.
Bild 23 zeigt eine Konstantstromquelle, die für die Widerstandsmessung mit DVM verwendet werden könnte.
Über den Widerstand R2 läßt man einen bestimmten Strom durch die Z-Diode D1 fließen. Am mit Ub bezeichneten Punkt stellt sich die zu diesem Strombetrag gehörende Zenerspannung der Diode ein. Auf Schwankungen der Speisespannung reagiert dieser Punkt nur wenig, d.h. die Spannung ist relativ stabil, bezogen auf den anderen Punkt der Z-Diode, also +U. Parallel zur Z-Diode liegt die Reihenschaltung aus Basis/Emitter-Strecke von T1 und Widerstand R1. Die Basis/Emitterstrecke hat eine Schwellenspannung von ca. 0,7 Volt, auch diese Spannung ist weitgehend stabil, da im Basisstromkreis (R2/Basis/Emitter/R1) keine Elemente vorhanden sind, die eine Änderung der Stromstärke hervorrufen können. Somit entfällt auf den Widerstand R1 eine bestimmte, konstante Spannung, sie ist die Differenz aus der Z-Spannung von D1 und der Schwellenspannung von T1. R1 ist ein vorgegebener Festwiderstand, dessen Wert sich nicht ändert. Aus Konstantspannung und Konstant-Widerstand errechnet sich ein Konstantstrom, der von +U über R1, die Emitter/Kollektor-Strecke von T1 nach Masse fließen würde, wenn an den beiden in Bild 23 eingezeichneten Klemmen oder Buchsen ein unbekannter, zu messender Widerstand angeschlossen wäre. Schließt man einen solchen an, denn erzeugt der in seinem Betrag bekannte Konstantstrom eine zum Widerstandswert proportionale Spannung, die das DVM messen kann.
Solange der unbekannte Widerstand einen kleinen Wert hat und der Konstantstrom eine ausreichende Stärke, so daß die Empfindlichkeit des DVM ausreicht, funktioniert die Sache. Mit zunehmendem Widerstandswert jedoch nähert sich der vom Konstantstrom erzeugte Spannungsabfall einem Wert, der der Differenz aus Speisespannung und Z-Spannung entspricht. Hier funktioniert die Sache nicht mehr. Deshalb muß, je höher der zu messende Widerstandswert ist, der Konstantstrom verringert werden. Dies kann in Stufen geschehen, und zwar in der Weise, daß man den Emitterwiderstand, der an der konstanten Spannung liegt, kleiner macht. Nach dem Ohmschen Gesetz verringert sich dabei der Strom in gleichem Maße. Die unterschiedlichen Widerstände im Emitter von T1 kennzeichnen die verschiedenen Meßbereiche.
Bild 24 zeigt eine DVM-Zusatzschaltung für die Widerstandsmessung. Man erkennt unmittelbar die Konstantstromquelle, R2 bis R5 sind die umschaltbaren Widerstände im Emitter des Transistors. Ihre Werte werden so gewählt, daß in jedem Meßbereich der Konstantstrom einen glatten Wert hat, z.B. 10 Milliampere, 1 Milliampere usw.
Ausgehend von einer Wandlerempfindlichkeit von 1 Volt, kann man jedem Meßstrom einen bestimmten Widerstandsmeßbereich zuordnen. Bei z.B. 1 Ampere Konstantstrom können Widerstände bis 1 Ohm gemessen werden, bei 100 Milliampere bis 10 Ohm usw.

Messen von Wechselspannungen und -strömen

Zwar sind die meisten der in der Praxis vorkommenden Meßaufgaben die bereits beschriebenen Messungen von Gleichspannung, Gleichstrom und Widerstand, jedoch sind Messungen von Wechselgrößen keineswegs eine Ausnahme.
Wenn Sie sich die Skalen eines Vielfach-Meßinstrumentes ansehen, so ist festzustellen, daß die Skala für Wechselspannung nicht linear ist. Am Anfang der Skala drängen sich die Teilstriche. Die Ursache dafür ist beim eingebauten Gleichrichter zu suchen, er hat ein „totes" Anlaufgebiet. Wechselspannungen mit kleiner Amplitude kann er nicht verarbeiten, weil die Gleichrichterdioden eine Schwellenspannung haben, die zunächst überschritten werden muß. Erst bei höheren Meßspannungen wird die Wechselspannungsskala immer „linearer".
Solche einfachen Gleichrichterschaltungen sind für ein Digitalvoltmeter völlig ungeeignet. Andererseits ist ein erheblicher schaltungstechnischer Aufwand erforderlich, wenn eine Wechselspannung mit einer Amplitude von z.B. nur 1 Millivolt sauber gleichgerichtet werden soll.
Bild 25 zeigt einen elektronischen Gleichrichter, wie er in den preiswerteren DVMs häufig verwendet wird. Die Funktion der Schaltung läßt sich allerdings nicht mit wenigen Sätzen erklären;

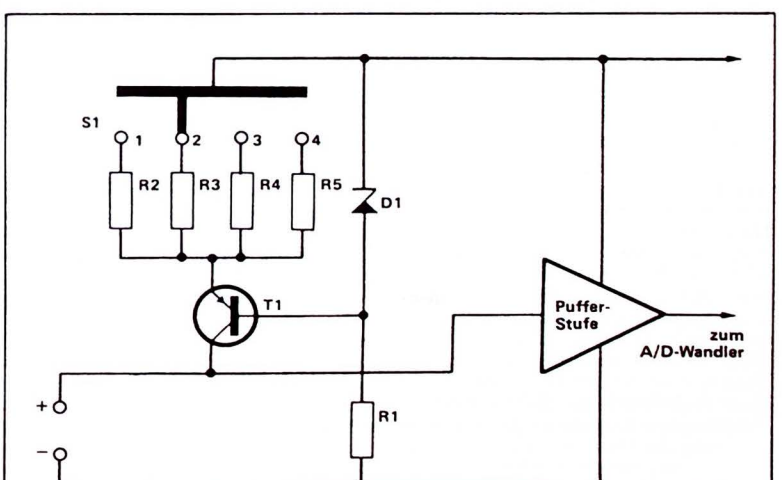


Bild 24. *Mit diesem Vorsatz für einen A/D-Wandler können unbekannte Widerstände in mehreren Bereichen gemessen werden. Beim Umschalten auf einen anderen Widerstand im Emitter des Transistors ändert sich auch der Meßstrom, der durch den unbekannten Widerstand fließt. Der Meßstrom ist hier in vier Dekaden einstellbar. Die hochohmige Pufferstufe ist erforderlich, damit der sonst parallel zu Rx liegende Eingangswiderstand des A/D-Wandlers nicht mitgemessen wird.*

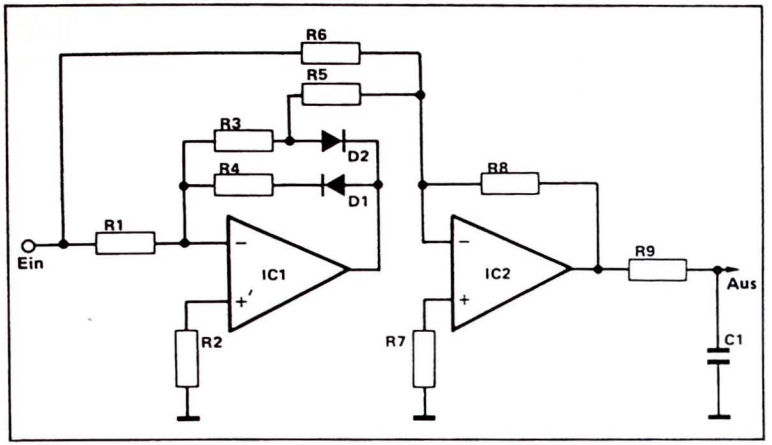


Bild 25. *Diese Schaltung setzt eine Wechselspannung in eine Gleichspannung mit exakt gleichem Amplitudenverlauf um. Der zweite OpAmp IC2 hat eine hohe Eingangsimpedanz, die den Mischpunkt R5/R6 kaum belastet. Die Funktionsweise ist im Text ausführlich erläutert.*

trotzdem soll der Versuch unternommen werden.

Die gleichzurichtende Wechselspannung liegt über einen Widerstand R1 am invertierenden Eingang eines OpAmps. Der positive, nichtinvertierende Eingang des Operationsverstärkers liegt über Widerstand R2 an Masse.

Zuvor einige Bemerkungen zum Verhalten des Operationsverstärkers. Liegt, wie in Bild 25, ein Netzwerk zwischen dem Ausgang und dem invertierenden Eingang, so ist der OpAmp gegengekoppelt, er stellt seine Ausgangsspannung dann so ein, daß die Spannungen an seinen Eingängen fast den gleichen Betrag haben. Zu beachten ist weiterhin, daß zwischen dem invertierenden Eingang und dem Ausgang eine Phasenumkehr stattfindet: Ein Anstieg der Spannung am invertierenden Eingang in Richtung auf positivere Werte äußert sich am Ausgang als Abnahme der Spannung. Da am Eingang über R1 eine Wechselspannung liegt (die gleichgerichtet werden soll), treten am Ausgang abwechselnd positive und negative Werte der Spannung gegen Masse auf. Das ist möglich, da der OpAmp nicht, wie die meisten elektronischen Schaltungen, mit nur einer, nämlich einer gegen Masse positiven Spannung gespeist wird, sondern mit einer positiven und einer negativen.

Nach diesen Vorbemerkungen nun zur Funktion der Schaltung in Bild 25. Bei einer negativen Halbwelle der Wechselspannung am Eingang ist die Ausgangsspannung des OpAmps positiv. Die Diode D1 leitet, über D1 und R4 ist der OpAmp gegengekoppelt. Somit liegt der invertierende Eingang fast auf Massepotential (Null Volt), da auch der positive Eingang dieses Potential hat und der gegengekoppelte OpAmp für eine sehr kleine Differenzspannung zwischen seinen Eingängen sorgt. Die Diode D2 sperrt bei positiver Ausgangsspannung, somit liegt der Knotenpunkt R3/D2 über R3 ebenfalls auf dem (Null-) Potential, das sich am invertierenden Eingang eingestellt hat. Das ist für die weitere Betrachtung wichtig: Bei negativen Halbwellen liegt der Knotenpunkt R3/D2 auf Masse.

Nun zur positiven Halbwelle der Eingangswechselspannung: Der Ausgang wird negativ, da der OpAmp zwischen invertierendem Eingang und Ausgang invertiert. Die Diode D2 leitet jetzt und zieht den Knotenpunkt R3/D2 mit, so daß die Spannung an diesem Punkt dem Verlauf der positiven Halbwelle am Eingang invertiert folgt. Der andere Gegenkopplungszweig mit D1/R4 ist während der positiven Eingangshalbwelle „tot", da der Ausgang negative Spannung hat und D1 sperrt. Somit gilt für die weitere Betrachtung: Bei positiven Halbwellen tritt am Knotenpunkt R3/D2 die Eingangsspannung invertiert, quasi als negative Halbwelle auf.

Der erste OpAmp IC1 ist, wenn man nur die Spannung am Knotenpunkt R3/D2 betrachtet, ein einfacher Gleichrichter, der nur eine Halbwelle gleichrichtet und dabei die Phasenlage umkehrt. Die Gleichrichtung erfolgt allerdings sehr genau und ist mit dem Verhalten einer einfachen Gleichrichterdiode nicht zu vergleichen. Zu beachten ist, daß die Spannung nicht mit einem Ladekondensator geglättet wurde, an dem bewußten Schaltungspunkt tritt die unverfälschte Kurvenform der Eingangswechselspannung (invertiert) auf.

Jetzt kommt der eigentliche Trick: Widerstand R6 und Widerstand R5 sind Mischwiderstände, die je ein Signal auf ihren gemeinsamen Schaltungspunkt mischen. Über R6 gelangt das Eingangssignal, und zwar beide Halbwellen, auf den Mischpunkt, über R5 ein negatives Signal, das aber während der positiven Halbwelle des Eingangssignals auftritt, weil es die invertierte positive Halbwelle ist. Durch geschickte Wahl der Werte der beiden Mischwiderstände R5 und R6 kann man nun erreichen, daß sich die positive Original-Halbwelle und ihre negative, von IC1 und seiner Beschaltung erzeugte Kopie beim Mischen genau aufheben, weil sie am Mischpunkt gleiche Amplituden haben. Geht man nun noch einen Schritt weiter und macht durch eine andere Bemessung der beteiligten Widerstände die negative Spannung, die über R5 auf den Mischpunkt gelangt, in ihrer Amplitude doppelt so groß, wie sie sein müßte, um die positive Halbwelle auszulöschen, so hat praktisch eine Phasenumkehr der positiven Halbwelle stattgefunden.

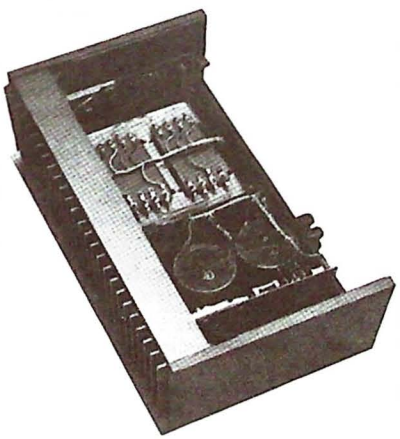
Wer bis hierher mitgedacht hat, müßte nun aufhorchen und fragen: Phasenumkehr der positiven Halbwelle des Eingangssignals - das hatten wir doch schon am Knotenpunkt R3/D2? Richtig, aber am Mischpunkt R5/R6 tritt auch die originale negative Halbwelle auf, so daß jetzt beide Halbwellen vorhanden sind, beide negativ und mit der ursprünglichen Amplitude, zumindest im ursprünglichen Amplitudenverhältnis, wenn die beteiligten Widerstände richtig bemessen wurden.

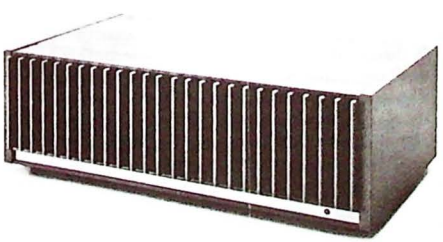
Die Schaltung in Bild 25, linker Teil, ist somit ein Zweiweg- oder Doppelweggleichrichter; die Gleichrichterdioden sind in den Gegenkopplungszweig eines OpAmps einbezogen, weil das Anlaufgebiet der Dioden auf diese Weise um Größenordnungen verringert werden kann und die Diodenkennlinie linearisiert wird.

Die Mischung funktioniert wie in einem NF-Mischpult um so besser, je geringer der Mischpunkt von der nachfolgenden Schaltung belastet wird. Deshalb liegt am Knotenpunkt R5/R6 der Eingang eines weiteren OpAmps IC2, er invertiert das Signal, so daß an seinem Ausgang positive Halbwellen erscheinen. Außerdem bestimmen die Widerstände in seiner Beschaltung den Verstärkungsfaktor, so daß hier endgültig der richtige Zusammenhang zwischen der Amplitude der Eingangswechselspannung und der Ausgangsgleichspannung hergestellt werden kann. R9 bildet zusammen mit C1 das lange erwartete Siebglied, das aus der pulsierenden Gleichspannung (die ununterbrochene Folge von Halbwellen nach einer Zweiweggleichrichtung) eine saubere Gleichspannung macht.

In der nächsten Folge wird zuächst auf das Problem des Spannungsteilers für die Messung von Wechselspannung eingegangen. Dann kommt ein wichtiges Wandlerverfahren zur Sprache: „Dual Slope", der Doppel-Flanken-Wandler. Dieses Analog/Digital-Umsetzungsverfahren ist ein Beispiel für die Tricks und Kniffe, mit denen die moderne Elektronik hohen Anforderungen gerecht wird.

(wird fortgesetzt)





NF-Leistungs-Verstärker

Einführung in die Schaltungstechnik

Viele Hobby-Elektroniker haben den ersten Schritt auf dieses moderne und faszinierende Gebiet getan, weil sie einmal selbst einen NF-Verstärker bauen wollten. Zwar möchte man jedem Neuling raten, es zunächst mit einem Kopfhörerverstärker zu versuchen, aber da zieht meist kein Argument, es soll und muß ein richtiger Verstärker mit viel Power sein. „Dem Manne kann geholfen werden", nämlich mit einem Verstärkerentwurf, der ein nachbausicheres Konzept hat, sowohl hinsichtlich der Elektronik als auch in Bezug auf die „Bauausführung". Ein solcher Entwurf ist für die praktische Betätigung des Newcomers noch am ehesten geeignet.

Schwieriger ist das Verstehen der Funktionsweise, denn auch der einfachste NF-Leistungsverstärker ist schon reichlich komplex, weil beim Entwurf zahlreiche mehr oder weniger große Probleme auftauchen, deren Lösungen sich in der fertigen Schaltung als zusätzliche Bauelemente oder als besondere Schaltungstricks äußern.

In diesem Grundlagenbeitrag werden Schritt für Schritt die Gedankengänge nachvollzogen, die zu den heutigen NF-Leistungsverstärkern geführt haben. Auf diese Weise begegnet man den Problemen und ihren bewährten Lösungen automatisch.

Auf Formeln wird bewußt verzichtet, stattdessen nehmen die Ausführungen über Sinn und Zweck der schaltungstechnischen Maßnahmen einen breiteren Raum ein. Sie sind umfassend und im Zusammenhang einer vergleichsweise einfachen und durchsichtigen Verstärkerschaltung dargestellt.

Wer diesen Beitrag „durchgearbeitet" hat, kann in anderen Verstärkerschaltungen sehr schnell das Besondere vom Allgemeinen trennen und sich dort dann mit spezielleren Dingen auseinandersetzen.

Endstufe mit einem Transistor

NF-Endverstärker lassen sich auf verschiedene Arten aufbauen. Bild 1a zeigt eine mögliche, jedoch fast rein theoretische Ausführung.

Die Schaltung dieser Endstufe ist besonders simpel, damit sind aber auch erhebliche Nachteile verbunden.

Der Transistor T1 soll einen möglichst großen Strom durch den Lautsprecher LS1 treiben, damit eine hohe Ausgangsleistung erzielt wird. Betrachtet man den Lautsprecher als Widerstand, dann muß die Signalspannung über seinen An-

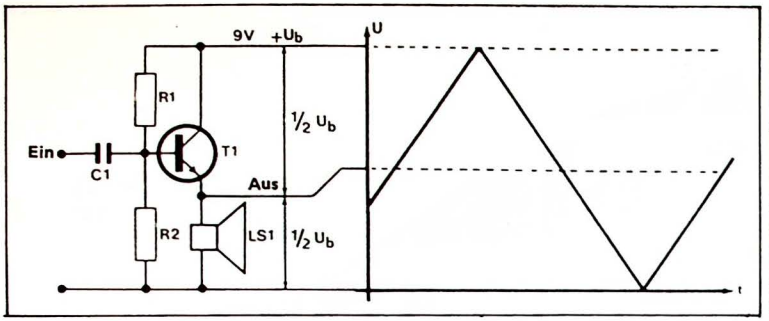


Bild 1a. *Die denkbar einfachste Endstufe hat die meisten Nachteile. Das Netzteil oder die Batterie werden mit einem hohen Ruhestrom unnötig belastet, schlimmer noch ist die Tatsache, daß der Ruhestrom durch den Lautsprecher fließt und die Schwingspule dezentriert. Der Lautsprecher verzerrt.*

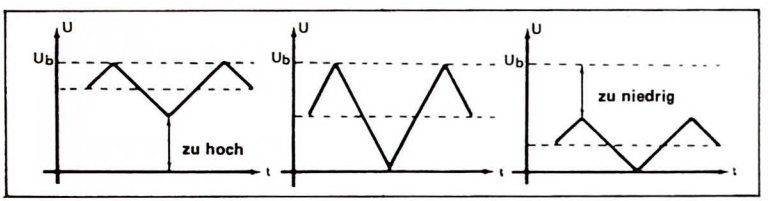


Bild 1b. *Hier wird klar, warum die Ausgangspannung der Endstufe im Ruhezustand auf 1/2 Ub eingestellt sein muß. Bei falscher Einstellung (im Bild links und rechts) tritt Begrenzung ein, wenn der absolut zur Verfügung stehende Spannungsbereich noch nicht voll genutzt ist.*

schlüssen einen möglichst hohen Betrag haben.

Dazu ist es zunächst erforderlich, die Ausgangsspannung im Ruhezustand, wenn der Verstärker nicht gesteuert wird, auf den halben Betrag der Speisespannung einzustellen. Die mittlere gestrichelte Linie in der Grafik Bild 1a liegt auf diesem Wert 1/2 Ub und hat eine angedeutete „Verbindung" mit dem Schaltungsausgang. Ein Wechselspannungssignal am Eingang der Stufe kann nun im Rahmen der insgesamt zur Verfügung stehenden Speisespannung +Ub optimal verstärkt werden, d.h. die positive und die negative Halbwelle werden oben bei +Ub und unten bei Null Volt (Masse) gleichzeitig begrenzt, wenn man die Stufe voll aussteuert.

Was bei falscher Gleichspannungseinstellung der Stufe passiert, zeigt anschaulich die Grafik in Bild 1b. Im linken Beispiel ist die Gleichspannung des Verstärkerausgangs zu hoch eingestellt. Das verstärkte Wechselspannungssignal erreicht viel zu früh seine maximale Amplitude, weil „oben" bereits Begrenzung eintritt. Zwar kann man die Eingangsspannung noch größer machen, jedoch nimmt dann nur noch die Amplitude der negativen Halbwelle zu, bei der positiven Halbwelle entsteht ein zunehmend breites „Flachdach"; wenn dieser Fall eintritt, ist das Signal bereits so stark verzerrt, daß man dem Lautsprecher nicht mehr zuhören möchte.

Ähnlich ist die Situation bei zu niedrig eingestellter Ausgangsgleichspannung. Hier fährt die negative Halbwelle des Nutzsignals frühzeitig in die Begrenzung, das Ergebnis ist wiederum, gemessen an der zur Verfügung stehenden Speisespannung, eine zu geringe Ausgangsleistung.

Ohne eine bestimmte Gleichspannung am Schaltungsausgang, wo der Lautsprecher angeschlossen ist, geht es also nicht. Daraus ergibt sich der größte Nachteil dieser Verstärkeridee: Die Schwingspule im Lautsprecher hat einen sehr niedrigen Gleichstromwiderstand, so daß die Gleichspannung 1/2 Ub einen kräftigen Strom bereits im Ruhezustand, wenn noch gar kein zu verstärkendes Signal vorhanden ist, durch den Lautsprecher treibt. Je nach Polung der Lautsprecherklemmen ist die Spule nach innen in den Magnetkern gezogen, oder sie wird nach außen gedrückt, jedenfalls befindet sie sich nicht in ihrer mechanischen Nullstellung. Bei Steuerung des Lautsprechers mit dem Nutz-Wechselspannungssignal ist die Aussteuerbarkeit von Lautsprecherspule und -Konus nach einer Seite hin bereits stark eingeschränkt, Verzerrungen oder eine stark verringerte Leistung des Lautsprechers sind das Ergebnis.

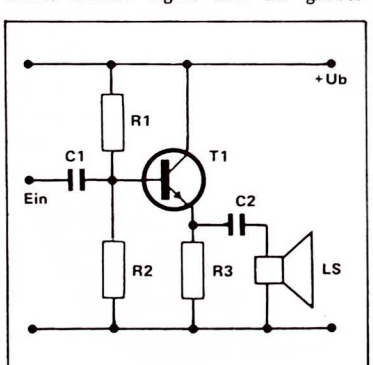


Bild 2. *Diese Schaltung funktioniert nur dann ordentlich, wenn der Widerstandswert von R3 klein ist gegen die Lautsprecherimpedanz. An diesem kleinen Widerstandswert erzeugt die auf 1/2 Ub eingestellte Emitterspannung einen unvertretbar großen Ruhestrom, der Wirkungsgrad der Schaltung ist miserabel.*

Eine Gleichspannung am Verstärkerausgang ist also unzulässig. Aber kann man den Lautsprecher nicht einfach über einen Kondensator anschließen, der verhindert, daß ein Gleichstrom durch die Schwingspule fließt? Man kann - wenn man dafür sorgt, daß der Ruhe-Gleichstrom der Stufe trotzdem fließen kann. Die Schaltung sieht also so aus, daß anstelle des Lautsprechers ein Widerstand zwischen Emitter und Masse liegt, über diesen Widerstand fließt der Ruhe-Gleichstrom (Bild 2). Parallel zum Widerstand liegt die Reihenschaltung aus Kondensator und Lautsprecher, in diesem Zweig fließt der NF-Wechselstrom. Die Sache funktioniert jedoch nur dann ordentlich, wenn der Widerstandswert klein ist gegen den Lautsprecherwiderstand. Damit ist sofort klar, welchen Nachteil diese Schaltung hat: In dem Widerstand, aber auch im Transistor fließt ein Haufen Strom, der nutzlos verschwendet wird. Das Netzteil müsste viel mehr Strom liefern, als wirklich benötigt wird, es entsteht eine Menge Wärme, die abgeführt werden muß.

Die komplementäre Endstufe

Dies ist das gängigste aller denkbaren Konzepte für NF-Endstufen. Die komplementäre Endstufe ist die Konsequenz aus der soeben besprochenen Endstufe mit Kondensator und Widerstand. Durch den Kondensator fließt Wechselstrom, d.h. dieses Bauelement wird fortwährend aufge- und entladen. Der Ladestrom fließt während der positiven Halbwelle über den leitenden Transistor. Während der negativen Halbwelle liefert der geladene Kondensator den Strom, dieser Entladestrom fließt über den Widerstand. Beide Ströme fließen als Nutzsignal durch den Lautsprecher, der ja in Reihe zum Kondensator liegt.

Stellt man sich den Transistor als Schalter vor, der während der positiven Halbwelle geschlossen ist, so ist der nächstliegende Gedanke, den Widerstand ebenfalls als „Schalter", d.h. als Transistor

auszuführen, der während der negativen Halbwelle geschlossen ist.
Bild 3 zeigt den Anfang vom Ende der Probleme, soll heißen: das Prinzip einer brauchbaren Endstufe.
Zwei Transistoren sind mit ihren Emittern zusammengeschaltet, dieser Punkt ist der Verstärkerausgang. Es handelt sich bei jedem der Halbleiter somit um einen Emitterfolger, wie bereits in der Schaltung Bild 1. Da auch die beiden Basisanschlüsse zusammengeschaltet sind, bekommen beide Halbleiter dasselbe Eingangssignal, und zwar über den Kondensator C1.
Was passiert? Zunächst wird die positive Halbwelle des steuernden Wechselspannungssignals am Eingang betrachtet. Beide Basisanschlüsse haben jetzt positive Spannung. Der obere Transistor ist ein npn-Typ, er leitet bei positiver Basisspannung; der untere pnp-Transistor dagegen sperrt. Wie in dieser Situation der Strom fließt, zeigt die mittlere Darstellung in Bild 3: über den leitenden Transistor T1, den Kondensator und den

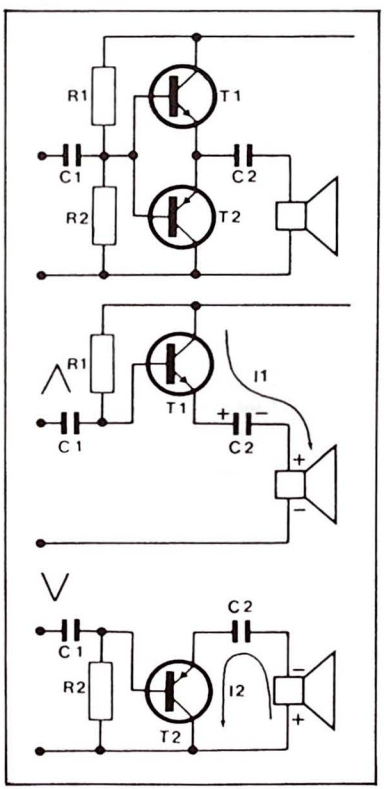


Bild 3. *Die komplementäre Endstufe ist der wahre Jacob. Während der positiven Halbwelle des Eingangssignals leitet der obere Transistor, der Strom steuert den Lautsprecher und lädt gleichzeitig den Kondensator. Während der negativen Halbwelle leitet T2, der Entladestrom fließt wieder durch den Lautsprecher, (komplementär = sich ergänzen).*

Lautsprecher; mit „Strom" ist der Signal-Wechselstrom der positiven Halbwelle (I1) bezeichnet. Der Kondensator wird vom Strom I1 aufgeladen, die Polarität der Ladespannung ist eingezeichnet. In welcher Richtung der Strom durch den Lautsprecher fließt, kann man sich nicht nur überlegen, sondern könnte man z.B. mit einem Oszilloskop feststellen, indem man die Spannung an den Lautsprecheranschlüssen mißt; sie hat die im Bild eingezeichnete Polarität. Auch der Verbindungspunkt der beiden Emitter ist während der positiven Halbwelle positiv.
Während der negativen Halbwelle ist der obere Transistor gesperrt, somit gibt es zwischen +Ub und Masse keinen Weg für den Strom. Der Kondensator liefert in dieser Phase den Strom, er entlädt sich über den jetzt leitenden Transistor T2 (untere Darstellung in Bild 3). Da die „offizielle" Stromrichtung von Plus nach Minus führt (die linke Platte von C2 ist positiv), fließt der Strom I2 in der eingezeichneten Richtung. Der dabei am Lautsprecher entstehende Spannungsabfall zeigt durch seine Polarität, daß während der negativen Halbwelle die Stromrichtung tatsächlich umgekehrt zur positiven Halbwelle ist.
Hinsichtlich der Stromrichtungen während der beiden Halbwellen funktioniert die Schaltung also. Außerdem fließt kein Gleichstrom durch den Lautsprecher, aus den genannten Gründen eine unabdingbare Voraussetzung für eine brauchbare Endstufe.
Und noch eine weitere wichtige Eigenschaft hat die komplementäre Endstufe. Bisher wurde der Einfachheit halber angenommen, das Eingangssignal sei entweder positiv (p. Halbwelle) oder negativ. Deshalb wurden die beiden Transistoren als Schalter betrachtet. Aber so ist es in der Praxis natürlich nicht, denn das NF-Eingangssignal hat einen fast willkürlichen Verlauf der Spannung über der Zeit, es ist momentan auch mal „nur ein Bißchen" positiv usw.
Als ordentliche Emitterfolger sorgen jedoch die beiden Transistoren dafür, daß an ihren Emittern die Spannung zu jedem Zeitpunkt ein perfektes Abbild der momentanen Eingangsspannung ist. Diese Spannung ist maßgebend dafür, was mit dem Kondensator passiert, ob er „schnell noch ein Bißchen mehr" geladen oder „ein wenig" entladen werden muß usw. Schnell heißt hier: so schnell, daß keine merkliche Verzögerung eintritt, so daß der Strom im Zweig Kondensator/Lautsprecher proportional und unverzögert zur Steuerspannung am Eingang ist. Mit einer Einschränkung: Damit die Transistoren in den Leitzustand kommen können, muß die Spannung an der Basis des betreffenden Transistors um ca. 0,7 Volt höher (T1) oder niedriger (T2) sein als am Emitter. Die „ersten" 0,7 Volt jeder Halbwelle bewirken also keinen Ausgangsstrom, es entsteht eine unzulässige Unlinearität zwischen Steuerspannung und Lautsprecherstrom. Der in Bild 3 eingezeichnete Basisspannungsteiler hilft in dieser Hinsicht nicht, denn es ist eine Gleich-Vorspannung zwischen den Basisanschlüssen der Transistoren erforderlich. Betrachtet man nur die beiden Halbleiterübergänge Basis/Emitter von T1 und Emitter/Basis von T2, so erkennt man, daß diese beiden Halbleiterstrecken in Reihe geschaltet sind. Eine Vorspannung zwischen den beiden Basisanschlüssen, mit der die Halbleiter gemeinsam „so gerade" etwas in den Leitzustand kommen und dann ein Wechselspannungssignal „sofort", d.h. von Null Volt an verarbeiten können, muß einen Betrag von ca. 1,4 Volt haben.

Die Gleichspannungseinstellung der komplementären Endstufe

Als mit der Einführung der transistorisierten NF-Endverstärker die „Ausgangsübertrager" (Lautsprecherimpedanz-Anpassungstrafos) verschwanden, sprach man von „eisenloser Endstufe". Was die Röhrenspezis damals störte, war die Tatsache, daß eine Einstellung des Ruhestroms für die Endstufe erforderlich war. Zwar läßt sich diese Einstellung vermeiden, und in „modernen" Verstärkern findet man nur höchst selten noch den bewußten Trimmer, aber dafür sind zusätzliche Halbleiter erforderlich, und die waren damals sehr teuer.
Die Verwendung von Trimmern hält den Aufwand an Halbleitern klein, so kann man mit nur fünf Transistoren einen Verstärker aufbauen, der 25...30 W Leistung abgibt.
Im übrigen ist eine Ruhestromeinstellung dem Hobbyelektroniker durchaus zuzumuten, zumal nur ein gewöhnliches Vielfachinstrument erforderlich ist.
Weshalb diese Dinge hier erwähnt werden: Es geht genau genommen gar nicht um den Ruhestrom, die komplementäre Endstufe braucht ihn nicht. Was sie dagegen braucht, ist eine Vorspannung der Endstufentransistoren. Der Ruhestrom ist die Folge der Vorspannung, außerdem ist sein Betrag eine einfach zu messende Größe, die zwar mittelbar, aber genau angibt, ob die Endstufe die richtige Vorspannung hat.
Bild 4 zeigt die gängige Art der Vorspannungserzeugung. Zwischen +Ub und Masse liegt ein Spannungsteiler aus zwei gleichen Widerständen R1, R2 und zwei Siliziumdioden D1, D2. Die Dioden liegen in Flußrichtung, so daß sie leiten, d.h. über jeder Diode entsteht ein Spannungsabfall von ca. 0,7 Volt.
Der Spannungsteiler ist symmetrisch, somit liegt der Mittelpunkt (wo C1 angeschlossen ist) auf 1/2 Ub. Die Gleichspannung an der Basis von T1 ist um ca. 0,7 Volt höher, die Basisspannung von T2 um 0,7 Volt niedriger. Parallel zu der Reihenschaltung der beiden Dioden, die

zusammen 1,4 Volt „erzeugen", liegt die Reihenschaltung der beiden Basis/Emitter-Strecken der Transistoren. Da jede der Strecken ebenfalls 0,7 Volt „braucht", um in den Leitzustand zu kommen, leiten die Transistoren (etwas) und der Emitter-Ausgang liegt ebenfalls auf 1/2 Ub.

Es genügt jetzt eine kleine Wechselspannung am Eingang, um die beiden Transistoren abwechselnd in den Leitzustand zu steuern. Das vorher „tote" Anlaufgebiet von 0,7 Volt ist dank der Voreinstellung beseitigt.

Allerdings ist diese Einstellung eine ziemlich labile Angelegenheit. Die Schwellenspannungen der Dioden und Basis/Emitter-Übergänge streuen von Exemplar zu Exemplar. Zwar sind es nur wenige Millivolt, aber die Transistorkennlinie (Kollektorstrom in Abhängigkeit von der Basisspannung) ist sehr steil. Deshalb müssen Maßnahmen zur Ruhestromstabilisierung vorgesehen werden.

Darlingtonstufe für größere Leistungen

NF-Signalquellen wie Tuner oder Bandgeräte geben Signalspannungen zwischen einigen 100 Millivolt bis 1 oder 2 Volt ab. Spannungsmäßig reicht das bereits zur Steuerung eines Kopfhörers, und an manchen Tonbandgeräten ohne eingebauten Verstärker lassen sich Kopfhörer unmittelbar betreiben. Daran kann man sehen, daß die Spannungsverstärkung nicht das wesentliche Merkmal eines NF-Verstärkers sein kann. Je nach gewünschter Leistung und abhängig von der Lautsprecherimpedanz muß die Spannungsverstärkung 10...100fach betragen. Das läßt sich mit 2, 3 Transistoren sauber (mit Gegenkopplung zur Herabsetzung des Klirrfaktors) schaffen.

Der übrige Aufwand, insbesondere der Einsatz von dicken Leistungstransistoren, dient dazu, den großen Strom für den Lautsprecher zu erzeugen.

Die Leistungstransistoren in NF-Endstufen, etwa der bekannte 2N3055, können zwar hohe Ströme an den Lautsprecher liefern, ihr Stromverstärkungsfaktor ist jedoch ziemlich niedrig. Deshalb wird jedem Endtransistor noch ein weiterer Transistor als zusätzlicher Stromverstärker vorgeschaltet.

Bild 5 zeigt die Anordnung. T1 und T3 sind, wie die beiden Endtransistoren T2 und T4, als Emitterfolger geschaltet, die bekanntlich keine Spannungs-, sondern nur eine Stromverstärkung machen. Der Kollektorstrom IC1 des ersten Transistors z.B. ist der Basisstrom IB2 des Endtransistors im oberen Teil der Endstufe für die positive Halbwelle. Der gesamte Stromverstärkungsfaktor ist das Produkt aus den einzelnen Verstärkungsfaktoren. Um diesen Faktor ist der Kollektorstrom IC2 im oberen Zweig höher als der kleine Steuerstrom IB1.

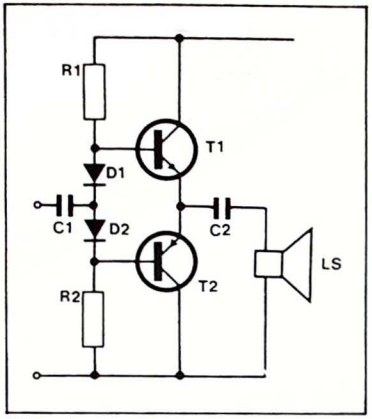


Bild 4. *Vorspannungserzeugung mit zwei Dioden.*

Die Transistoren T2 und T4 in Bild 5 sind je ein npn- und ein pnp-Leistungstransistor (Richtung des Emitterpfeils beachten) des gleichen Kalibers. Aus technologischen Gründen sind jedoch pnp-Leistungstransistoren teuer, während der gängige 2N3055 (npn) sehr preiswert zu haben ist. Man hat deshalb nach Wegen gesucht, in der Endstufe zwei npn-Leistungstransistoren verwenden zu können, ohne auf das Merkmal „komplementär" verzichten zu müssen. Bild 6 zeigt die Lösung des Problems, die quasi-komplementäre Gegentakt-Endstufe. Was als „Gegentakt" bezeichnet wird, müßte eigentlich klar sein: Die beiden Zweige oben und unten übernehmen, wie schon in Bild 3, 4 und 5, abwechselnd die Stromverstärkung der Halbwellen, sie arbeiten im Gegentakt.

Die quasi-komplementäre Gegentakt-Endstufe

In Bild 6 ist der obere Zweig gegenüber Bild 5 unverändert, der Endtransistor war bereits ein npn-Typ mit einem vorgesetzten Emitterfolger. Unten dagegen ist eine Änderung eingetreten, T4 ist jetzt ebenfalls ein npn-Leistungstransistor. Emitter und Kollektor haben die Plätze getauscht, trotzdem verhält sich dieser Zweig wie der Doppel-Emitterfolger oben. Entscheidend ist nämlich die Schaltung von T3. Er ist der „ersatzweise" wirksame pnp-Transistor mit dem Emitter am Ausgang. Sein Kollektorstrom IC3 fließt unmittelbar in die Basis von T4, der zusammen mit T3 für die erforderliche Stromverstärkung sorgt und bei den negativen Halbwellen den hohen Laststrom liefert.

Übrigens bezeichnet man Transistor-Anordnungen wie in Bild 5 und 6 oben und in Bild 5 unten als Doppel- oder Super-Emitterfolger, der Oberbegriff hierfür sowie für eine Anordnung wie in Bild 6 unten heißt „Darlington". Es gibt heute „fertige" Darlingtons, zwei Transistoren in einem Gehäuse mit drei Anschlüssen.

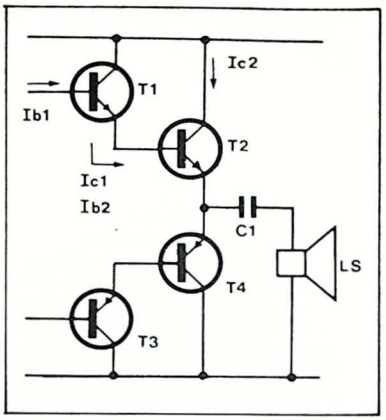


Bild 5. *Höherer Stromverstärkungsfaktor mit Darlington-Stufen.*

Bootstrapping

Was Bild 6 zeigt, ist nur das Prinzip der quasi-komplementären Endstufe. Es fehlt noch einiges, z.B. die Gleichspannungseinstellung und eine Stufe zur Spannungsverstärkung. Diese Sachen zeigt später das Gesamtschaltbild, aber eine der Maßnahmen soll vorher noch gesondert besprochen werden: das Bootstrapping, das dazu dient, die zur Verfügung stehende Speisespannung optimal zu nutzen (Bild 7) .

Selbstverständlich will man mit dem Elektronik-Aufwand, der in einer Endstufe steckt, eine möglichst hohe Ausgangsleistung erzielen. Die an den Lautsprecher abgegebene Leistung ist um so höher, je höher die Speisespannung gewählt wird. Die Steigerung ist in etwa quadratisch, weil mit der Spannung auch der Lautsprecherstrom steigt, die Leistung ist ja das Produkt aus Spannung und Strom.

Die Speisespannung der Endstufe ist vom Netzteil her vorgegeben. Aber ausgerechnet dann, wenn der Verstärker voll ausgesteuert wird und seine höchste Leistung abgeben soll, geht das Netzteil „in die Knie", die Speisespannung nimmt im ungünstigsten Moment ab. Stabilisierung der Speisespannung wäre zwar möglich, dann muß aber die unstabilisierte Netzteilspannung höher sein, damit die Stabilisierungsschaltung funktioniert. Diese höhere Spannung könnte man dem Verstärker dann ja auch direkt anbieten.

Da ist also ohne Mehraufwand im „Leistungsbereich" (in diesem Fall im Netzteil) nichts zu machen. Deshalb ist auf jeden Fall dafür zu sorgen, daß wenigstens die bei Vollaussteuerung verringerte Speisespannung voll genutzt wird. Da, wie bereits gezeigt wurde, bei der negativen Halbwelle des Steuersignals der Kondensator C1 den Lautsprecherstrom liefert, ist der eigentlich kritische Moment die positive Halbwelle. Bei Voll-

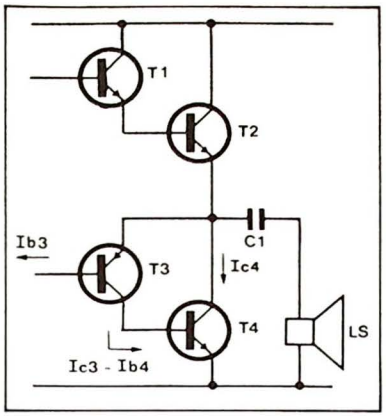


Bild 6. *Die preiswertere quasi-komplimentäre Gegentakt-Endstufe.*

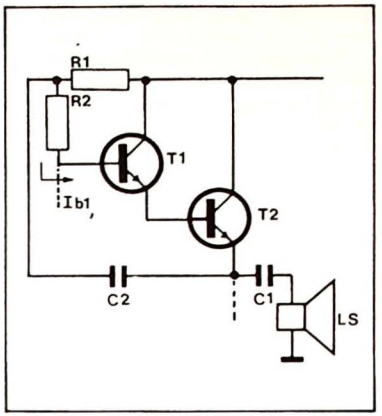


Bild 7. *Das Bootstrapping-Prinzip ermöglicht die volle Aussteuerbarkeit.*

aussteuerung müssen, damit die höchstmögliche Leistung erzielt wird, die beiden Transistoren T1 und T2 in Bild 6 voll in den Leitzustand kommen. Dann nämlich erreicht die Spannung am Emitter-Ausgang das Potential der Speisenung, bis auf eine kleine Differenzspannung von einigen hundert Millivolt, die über der Kollektor/Emitter-Strecke von T2 abfällt. Diese sogenannte Kniespannung tritt bei einem Transistor immer auf, wenn er in die „Sättigung" gesteuert wird, wie das heißt.

Läßt man der Einfachheit halber die Sache mit der Kniespannung außer Betracht, dann liegt bei Vollaussteuerung mit der positiven Halbwelle der Ausgang auf Speisespannungspotential. Damit aber die beiden Transistoren überhaupt in den Leitzustand kommen können, muß in diesem Moment die Spannung an der Basis von T1 um mindestens 2 x 0,7 Volt höher sein als die Ausgangsspannung (sprich: Speisespannung). Nur dann kann überhaupt Basisstrom in den ersten Transistor fließen, nur dann werden die in Reihe liegenden Basis/Emitter-Spannungsschwellen von je ca. 0,7 V überschritten. In der ganzen Schaltung tritt aber von alleine, d.h. ohne besondere Maßnahmen, keine Spannung auf, die höher ist als die Speisespannung, denn auch eine vorgeschaltete Spannungsverstärkerstufe wird an der gemeinsamen Speisespannung betrieben und kann somit keine höhere Spannung liefern.

Mit dem Schaltungskniff, der Bootstrapping genannt wird, ist es möglich, eine Spannung zu erzeugen, die höher ist als die Speisespannung. Diese Maßnahme zur „Leistungssteigerung" ist deshalb sinnvoll, weil sie lediglich einen Widerstand und einen Kondensator zusätzlich erfordert, also keine teuren Leistungsbauelemente.

In der endgültigen Ausführung der Endstufe wird der Transistor T1 von dem in Bild 7 nicht eingezeichneten Vorstufen-Transistor gesteuert, die gestrichelte Linie bei IB1 deutet dies an. Ohne Bootstrapping würde die Basis über nur einen Widerstand an der Speisespannung liegen, in Bild 7 ist dieser Widerstand in zwei Teilwerte R1, R2 gesplittet. Am Verbindungspunkt der beiden Widerstände liegt der Bootstrap-Kondensator C2, dessen rechter Anschluß mit dem Schaltungsausgang verbunden ist.

Solange der Verstärker nicht gesteuert wird, hat der Ausgang und somit auch die rechte Platte von C2 die Spannung 1/2 Ub; die linke Platte ist positiver, denn sowohl die Speisespannung, mit welcher der Widerstand R1 verbunden ist, als auch die Basis von T1, an der R2 liegt, sind positiver als 1/2 Ub. Für die Betrachtung der Funktionsweise ist die positive Halbwelle der Eingangsspannung interessant. Sie äußert sich am Ausgang als Anstieg der Spannung. Somit wird die rechte Platte des Kondensators positiver (gemessen am Ruhezustand). Der Kondensator überträgt diese Spannungsänderung unmittelbar auf seine andere Seite. Hier war vorher die Spannung schon höher als am Ausgang, sie steigt jetzt noch weiter, nämlich um den Betrag, um den sich während der positiven Halbwelle die Ausgangsspannung erhöht. Bei Vollaussteuerung hat der Ausgang Speisespannungspotential, d.h. der Kondensator überträgt auf seine linke Seite einen Spannungssprung von 1/2 +Ub. Dieser Betrag addiert sich am Knotenpunkt R1/R2 zu der dort vom Ruhezustand her gegebenen Spannung, die bereits höher als 1/2 Ub war. Somit tritt am Knotenpunkt eine Spannung auf, die über Ub liegt. Diese Erscheinung tritt unabhängig von der tatsächlichen Höhe der Speisespannung auf, die ja bei Vollaussteuerung mit der positiven Halbwelle abnimmt. Es steht genau im richtigen Moment (positive Halbwelle) an der Basis von T1 eine Spannung zur Verfügung, die unabhängig von der momentanen Speisespannung um einige Volt höher ist als diese. Damit ist eine wichtige Bedingung erfüllt: Über R2 steigt während der positiven Halbwelle auch das Potential an der Basis von T1, die erforderliche Spannungsreserve zur Steuerung der beiden Transistoren T1, T2 steht zur Verfügung. Somit wird bei Vollaussteuerung T2 in die Sättigung gefahren, die Speisespannung wird voll genutzt.

Gesamtschaltbild des Endverstärkers

Bild 8 zeigt die Schaltung eines vollständigen Endverstärkers.

Die quasi-komplementäre Endstufe wurde um die Widerstände R9...R12 und die Dioden D3, D4 erweitert. Zunächst zu den 1 Ohm-Widerständen R11 und R12. Sie liegen in den Emitterleitungen der beiden Endtransistoren und dienen zur Stabilisierung der Einstellung des Verstärkers. Durch T4 und T5 fließt der Ruhestrom, er muß jetzt auch durch die Widerstände. Wenn dieser Strom aus irgendeinem Grund ansteigen will, so erzeugt er einen größeren Spannungsabfall an den Widerständen. Dabei nimmt die Differenzspannung zwischen Basis und Emitter (T4 bzw. T2) ab, der Strom nimmt unmittelbar ab, genauer gesagt, er kommt gar nicht dazu, anzusteigen. Die zu den beiden Widerständen parallel geschalteten Dioden begrenzen den Spannungsabfall bei Steuerung des Verstärkers mit einer Wechselspannung. Der große Lautsprecherstrom, der bei Vollaussteuerung fließt, würde an R11 und R12 einen Spannungsverlust von einigen Volt erzeugen. Auf diese Spannung kann aber nicht verzichtet werden, deshalb sind die Widerstände mittels der Dioden kurzgeschlossen, sobald der Spannungsabfall den Wert 0,7 Volt erreicht. Dies ist somit die maximale Spannung, die an den 1 Ohm-Widerständen verloren geht; sie reicht zur Stabilisierung aber völlig aus.

Die Widerstände R9 und R10 sind sogenannte „Ableitwiderstände". Nach einer positiven Halbwelle z.B. befinden sich in der Basiszone von T4 noch Ladungsträger, Leistungstransistoren sind nicht die schnellsten. Während T3 „längst" sperrt, muß die Basis von T4 noch ausgeräumt werden. Wohin aber sollen die Ladungsträger abfließen? T3 ist schon dicht, somit würde die Basis von T4 in der Luft hängen, wenn R9 nicht wäre. Mit R9 existiert ein ausreichend niederohmiger Basis-Stromkreis, die noch vorhandenen Ladungsträger können schnell genug weg.

Transistor T1, obwohl der (Verlust-) Leistung nach der kleinste von allen, ist insofern ein Schwerarbeiter, weil er eine Menge Funktionen hat. Er sorgt nicht nur für die Steuerung der Endstufe, sondern auch für die Spannungsverstärkung und für die Gleichspannungseinstellung des gesamten Endverstärkers (alle Stufen sind ja gleichstromgekoppelt, d.h. der Signalweg führt nicht über Kondensatoren). Außerdem dient die Stufe mit T1 zur gleichspannungsmäßi-

gen Stabilisierung des Verstärkers und zur Festlegung des Spannungs-Verstärkungsfaktors.

Aber der Reihe nach; zunächst deshalb zu den typischen Bauelementen einer Transistorstufe, die zur Spannungsverstärkung dienen soll.

Das NF-Signal gelangt über einen Koppelkondensator auf die Basis von T1, Widerstand R1 ist „untypisch", er wird später besprochen. An der Basis müßte ein Spannungsteiler zur Gleichspannungseinstellung liegen. Der Teilwiderstand zwischen Basis und Masse ist schnell gefunden: R4. Der andere Teilwiderstand liegt normalerweise zwischen Basis und Pluspol der Speisespannung. Hier ist es die Reihenschaltung aus R2 und R3, die den oberen Teilerwiderstand bildet. Er liegt jedoch nicht an Plus, sondern an der mittleren „Schiene", die im Ruhezustand auf 1/2 Ub liegt. Der Grund wird später erläutert. Bei einer ganz gewöhnlichen Verstärkerstufe liegt der Emitter an Masse, der Kollektor, der den Ausgang der Stufe bildet, über einen Widerstand an Plus. Hier liegen in der Kollektorleitung gleich fünf Bauelemente: D1, D2, R7, R6 und R5. Vergleicht man die drei Widerstandswerte, so ist zu erkennen, daß R5 und R6 die maßgeblichen, eigentlichen Widerstände in der Kollektorleitung sind. Denkt man sich die beiden Dioden und R7 weg, dann liegen die jeweils ersten Transistoren der komplementären Endstufe (T2, T3) tatsächlich mit den Basisanschlüssen am Kollektor von T1, der ja den Ausgang der ersten Stufe bildet. Der Kollektorstrom von T1 erzeugt an den Dioden und an R7 einen Spannungsabfall, der dank R7 ein wenig größer ist als 2 x 0,7 Volt. Seinen tatsächlichen Betrag kann man mit R7 einstellen. Auf diese Weise entsteht die anläßlich von Bild 4 besprochene Voreinstellung der Endstufe, R7 wird später, wenn der Verstärker aufgebaut ist, auf einen bestimmten Ruhestrombetrag getrimmt.

Der Emitter liegt nicht unmittelbar an Masse, sondern über den Widerstand R8. Das hat folgenden Grund: Bei direkter Verbindung liegt die Basis/Emitter-Strecke parallel zu R4. Die Spannung an R4 hängt dann nicht vom Spannungsteilerverhältnis ab, sondern beträgt grundsätzlich ca. 0,7 Volt. Damit wäre der Spannungsteiler außer Funktion gesetzt, und die Stufe würde folgendes Verhalten zeigen: Über R2 und R3 fließt ein Basisstrom in T1, dessen Betrag nur von den beiden Widerstandswerten und der am oberen Ende von R2 zur Verfügung stehenden Gleichspannung abhängt. Über den Stromverstärkungsfaktor des eingesetzten Transistorexemplares kommt ein Kollektorstrom zustande, dessen Betrag „undefiniert" ist, weil die Stromverstärkungsfaktoren stark streuen. Legt man dagegen einen Widerstand (R8) in den Emitter, dann sieht die Sache sofort ganz anders aus. Der Spannungsteiler R2/R3 und R4 stellt die Basis auf eine ganz bestimmte Spannung ein. Die Basis/Emitter-Strecke „nimmt sich" die berühmten 0,7 Volt, der Rest, der als Differenz zweier definierter Werte natürlich ebenfalls definiert ist, entfällt auf R8. Aus Spannung und Widerstand errechnet sich ein Strom, der durch R8 fließt und praktisch unabhängig ist vom Stromverstärkungsfaktor des verwendeten Transistorexemplares. Dieser Strom fließt aber nicht nur durch R8, sondern in der gesamten Kette vom Pluspol, über R5, R6 usw., über den Kollektor von T1 und weiter vom Emitter über R8 nach Masse. Somit hat der Kollektorstrom jetzt einen definierten Wert.

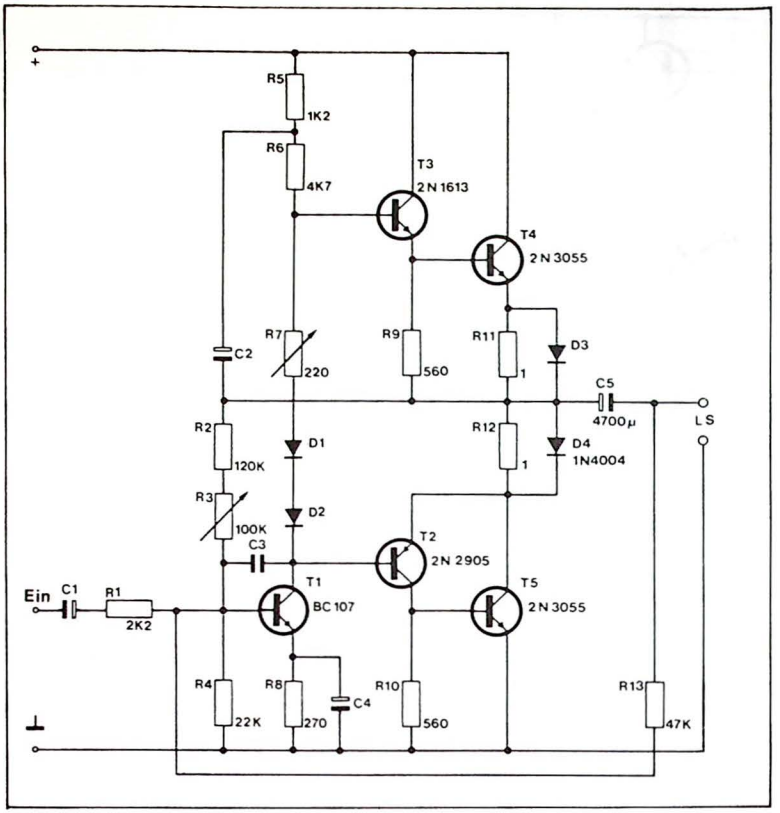


Bild 8. *Ein NF-Leistungsverstärker, der alle in diesem Beitrag erörterten Schaltungsmaßnahmen enthält.*

Nach dem Gesetz von der Erhaltung des Übels muß auch die Hereinnahme von R8 einen Nachteil haben: Die Spannungsverstärkung der Stufe reduziert sich durch diese Maßnahme, sie entspricht mit guter Näherung dem Verhältnis der im Kollektorweg einerseits und der im Emitterweg andererseits liegenden Widerstände. Je größer man den Emitterwiderstand macht, um so definierter ist zwar die Gleichspannungseinstellung der Stufe, aber um so niedriger ist die Verstärkung des Nutzsignals. R8 wirkt für Gleich- und Wechselspannungen wie eine Gegenkopplung innerhalb derselben Transistorstufe.

Dagegen hilft Kondensator C4. Jetzt ist der Emitterwiderstand nur gleichspannungsmäßig wirksam, wechselspannungsmäßig liegt der Emitter wieder unmittelbar an Masse, weil C4 so bemessen werden kann, daß er auch noch für die niedrigsten zu verarbeitenden NF-Frequenzen praktisch ein Kurzschluß ist. Zwar wäre an dieser Stelle eine auch für Wechselspannung wirksame Gegenkopplung wünschenswert, und zwar im Hinblick auf geringere Verzerrung in dieser Verstärkerstufe und zur Heraufsetzung des Eingangswiderstandes (eine „automatische" Folge der Gegenkopplung im Emitter), aber es zweckmäßiger, an dieser Stelle einen großen Verstärkungsfaktor beizubehalten und den gesamten Verstärker über alle Stufen gegenzukoppeln. Dabei reduziert sich der Gesamtverstärkungsfaktor sowieso, und es werden alle Stufen, in denen Verzerrungen entstehen, erfaßt. Die hohe Stufenverstärkung von T1 mit seinem (für das Wechselspannungssignal) überbrückten Emitterwiderstand gestattet es, die Gegenkopplung vom Ausgang auf den Eingang „kräftig" zu machen, was sich auf den Klirrfaktor günstig auswirkt.

Die Wechselspannungs-Gegenkopplung besteht aus den Widerständen R13 und R1. Da R13 hinter dem Kondensator C5 liegt, werden tatsächlich nur Wechselsignale erfaßt, denn im Ruhezustand ist hinter dem Kondensator keine Spannung, insbesondere keine Gleichspannung, denn dieser Punkt liegt (in Ruhe) über die Lautsprecherspule an Masse; somit ist R13 gleichspannungsmäßig als fester Widerstand parallel zu R4 aufzufassen und lediglich bei der Berechnung des Basisspannungsteilers von T1 zu berücksichtigen.

Wird der Verstärker gesteuert, dann beginnt für R13 die eigentliche Aufgabe. Er bildet mit R1 einen Spannungsteiler für die Ausgangsspannung des Verstärkers, denn R1 liegt über C1 und den sehr niedrigen Innenwiderstand der steuernden Signalquelle an Masse. Der Knotenpunkt dieses Spannungsteilers ist mit der Basis von T1 verbunden, somit gelangt ein bestimmter, von den Widerstandswerten R13 und R1 abhängiger Teilbetrag der Ausgangsspannung zurück auf die Basis von T1, wo er mit dem über R1 zugeführten Steuersignal „gemischt" wird. Dieser Vorgang muß allerdings etwas genauer betrachtet werden. Das steuernde Eingangssignal und das Ausgangssignal des Verstärkers sind gegenphasig, wie man sich leicht überlegen kann. Bei einer positiven Halbwelle z.B. steigt die Spannung an der Basis von T1, es fließt ein größerer Basistrom, der Kollektorstrom nimmt ebenfalls zu. Der höhere Kollektorstrom erzeugt an den (diversen) Widerständen in der Kollektorleitung einen stärkeren Spannungsabfall, so daß die Spannung am Kollektor abnimmt. Das obere Darlington T3/T4 erhält weniger Steuerstrom und reagiert, indem es sperrt bzw. weniger leitet. Das untere Darlington kommt weiter in den Leitzustand; beides führt zu einer Abnahme der Ausgangsspannung. Somit verringert sich auch die Spannung des Teilers R13/R1. An der Basis von T1 steigt die Spannung bei einer positiven Halbwelle sehr viel weniger an, als von der Signalquelle „vorgegeben". Deshalb spricht man von Gegenphase bzw. von Gegenkopplung. An der Basis von T1 wird als Steuerspannung die Differenz aus Eingangssignal und Gegenkopplungsspannung wirksam. Diese Differenz bestimmt die Höhe der Ausgangsspannung, denn nach Verstärkung mit T1 erscheint das Signal an den Darlingtons, die es - da sie selbst keine Spannungsverstärkung machen - in der Amplitude unverändert zum Ausgang gelangen lassen. Dies aber ist eine interessante Erscheinung, denn wenn man die Differenzspannung verringert, indem man R13 einen kleineren Wert gibt und so mehr Spannung gegenkoppelt, muß man die Eingangsspannung (Ausgangsspannung der Signalquelle) heraufsetzen, um wieder dieselbe Ausgangsspannung des Verstärkers zu erhalten. Von dem Verhältnis R13 zu R1 hängt somit der Verstärkungsfaktor der gesamten Schaltung ab. Das ist natürlich ein gutes Argument für die Einführung der Gegenkopplung: Mit Festwiderständen einen ganz bestimmten Verstärkungsfaktor einstellen zu können. Noch wichtiger aber ist eine andere Eigenschaft der Gegenkopplung: Sie reduziert die Verzerrungen, sorgt also für einen niedrigen Klirrfaktor, und zwar um so mehr, je kräftiger die Gegenkopplung ausgeführt ist. Ein Zahlenbeispiel: Wenn Transistor T1 eine Spannungsverstärkung von 100fach hat, dann beträgt die Leerlaufverstärkung (ohne Gegenkopplung) ebenfalls 100x. Es soll aber eine Verstärkung von nur z.B. 20fach durchgeführt werden. Diese Verminderung des Verstärkungsfaktors geschieht mit Hilfe der Gegenkopplung. Das Verhältnis Leerlaufverstärkung zu Verstärkung bei geschlossener Gegenkopplungsschleife, im Beispiel

100 : 20 = 5, wird als Gegenkopplungsfaktor bezeichnet. Der Leerlauf-Klirrfaktor z.B. 10%, verringert sich dank der Gegenkopplung, bei geschlossener Schleife beträgt er nur noch 10% : 5 = 2%.

Der in Bild 8 gezeigte Verstärker hat außer der Wechselspannungsgegenkopplung auch eine Gleichspannungsgegenkopplung. Sie dient dazu, die Gleichspannungseinstellungen der Transistoren sowie das Ruhepotential der 1/2 Ub-Schiene zu stabilisieren. Zu diesem Zweck liegt R2 an dieser Schiene, statt am Pluspol der Speisespannung. Wenn hier das Potential ansteigt, erfährt dies auch die Basis über den Spannungsteiler R2/R3 — R4. T1 zieht mehr Strom, seine Kollektorspannung nimmt ab. Dies bedeutet für das obere Darlington: weniger Basisstrom, für das untere: mehr Basisstrom. Dabei nimmt die Spannung der Schiene wieder ab, so daß dem angenommenen Anstieg entgegengewirkt wird. Umgekehrt, bei einer Abnahme der Spannung, funktioniert die Sache ebenso.

Mit R3 kann das Ruhepotential der Schiene auf genau 1/2 Ub eingestellt werden. Stellt man R3 z.B. auf einen höheren Widerstandswert ein, so verringert sich das Potential am Knotenpunkt des Spannungsteilers (Basis T1). In der parallel zu R4 liegenden Reihenschaltung Basis/Emitterstrecke von T1/R8 entfällt nun weniger Spannung auf R8, so daß der Kollektorstrom abnimmt. Gleichzeitig und gleichmäßig fallen die Potentiale an den Basisanschlüssen von T3 und T2, das obere Darlington leitet ein bißchen weniger, das untere ein bißchen mehr, so daß das Ruhepotential der Schiene (Ausgangs-Ruhepotential) etwas abnimmt. Mit R3 kann somit für symmetrische Aussteuerung der Endtransistoren gesorgt werden.

Zu erwähnen sind schließlich noch zwei Kondensatoren. C2 ist der Bootstrap-Kondensator, er liegt so wie besprochen in der Schaltung.

C3 verhindert, daß der Verstärker hochfrequente Schwingungen veranstaltet. Wie kann das passieren? Voraussetzung der Gegenkopplung ist die Tatsache, daß an einer Stelle eine Phasenumkehr von 180° stattfindet, in der vorliegenden Schaltung tritt sie zwischen Basis und Kollektor von T1 auf. Eine weitere Phasenumkehr ist nicht vorgesehen, aber sie kann in der Kette der Transistoren auftreten. Bei hohen Frequenzen werden die Transistoren zunehmend träger, d.h. das Ausgangssignal folgt dem Eingangssignal nicht unmittelbar, sondern ist verzögert. Bei einer bestimmten hohen Frequenz ist es dann soweit: Aus der Gegenkopplung ist eine Mitkopplung geworden. Damit der Verstärker tatsächlich schwingt, müssen noch zwei weitere Bedingungen erfüllt sein. Zum einen muß ein Verstärkerelement in der Schleife sein (hier: T1), zum zweiten muß der Oszillator angeregt werden. Auch die zweite Bedingung ist erfüllt, weil die Bauelemente in der Schaltung auf allen Frequenzen rauschen. Die Rauschspannungen haben zwar nur niedrige Amplituden, sie reichen aber zum Anregen der Schwingung aus.

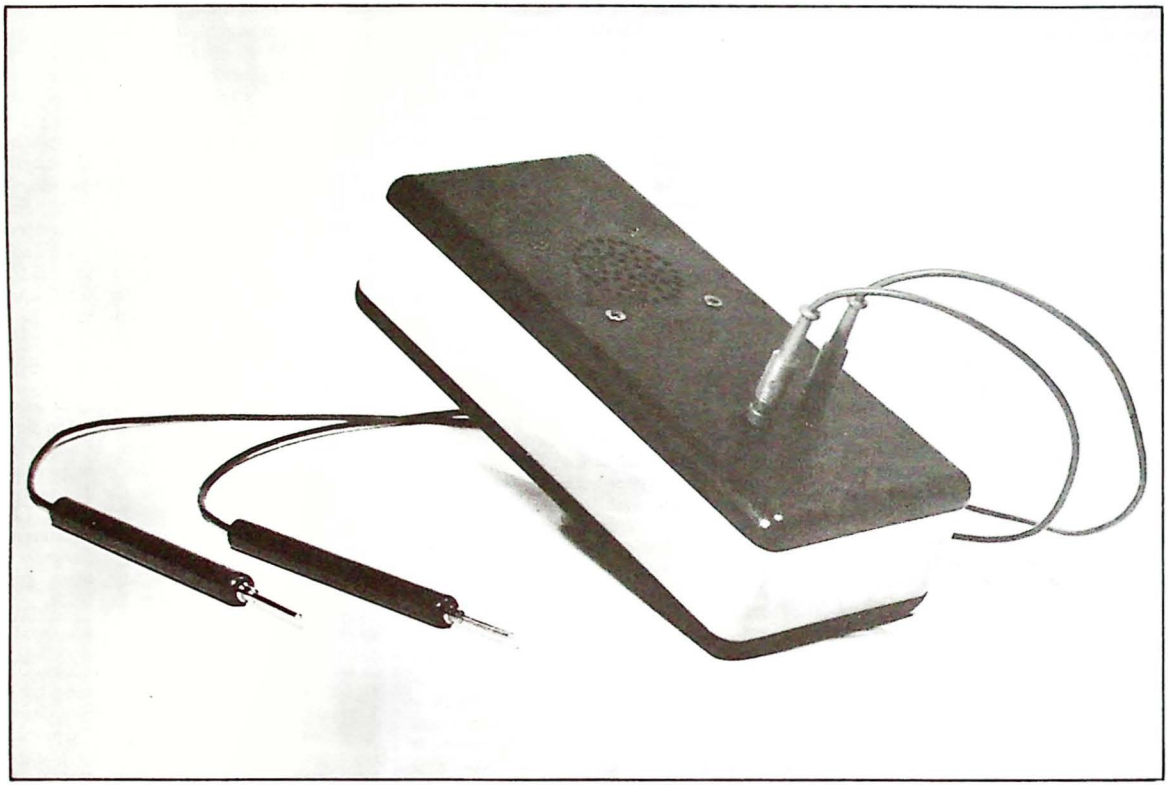
C3 tut etwas ganz einfaches: Für alle Frequenzen des infrage kommenden Bereiches ist er ein Kurzschluß, er koppelt das Signal vom Kollektor gegenphasig auf die Basis zurück. Für die Frequenzen des betreffenden Bereiches hat T1 keine Verstärkung; da an keiner anderen Stelle in der Schaltung Spannungsverstärkung stattfindet, ist die oben genannte Bedingung nicht mehr erfüllt.

Nachbemerkungen

Der in diesem Beitrag besprochene NF-Verstärker ist nur eine von zahlreichen möglichen Varianten desselben Prinzips. Im allgemeinen wird heute bei Verstärkern dieser Konzeption mehr Aufwand getrieben, der z.B. dazu dient, die Daten zu verbessern und die Ruhestromeinstellung überflüssig zu machen. Bemerkenswerte Varianten sind integrierte Leistungsverstärker, die als Module bebezeichnet werden, sowie der Brückenverstärker, der es bei erheblichem Mehraufwand gestattet, bei etwa der halben Speisespannung eines normalen Verstärkers dieselbe Leistung herauszuholen.

Wesentlich anders und mit dem hier beschriebenen Verstärker nicht zu vergleichen sind Digital-NF-Verstärker und solche mit Leistungs-FETs (Feldeffekttransistoren) in der Endstufe. Sie sind aber noch nicht spruchreif, zumindest nicht für die Hobbyelektronik. Insbesondere bei den - im zu erwartenden Zusammenwirken mit digitalen NF-Aufzeichnungs- und Übertragungsverfahren interessanten - Digital-NF-Verstärkern scheint es noch einige Schwierigkeiten zu geben.

DUT



Akustischer Durchgangstester

Wer bislang ein Ohmmeter als Durchgangstester benutzte, kann von Glück sagen, wenn ihm bei der Beobachtung des Zeigerausschlages noch nie die Prüfspitzen abrutschten. Das geringste Übel waren dann Falschmessungen, leider starben aber auch schon Bauelemente, weil die abrutschenden Prüfspitzen Kurzschlüsse verursachten. Solche Pannen lassen sich vermeiden, wenn man künftig den P.E.-DUT, einen Durchgangstester mit akustischer Anzeige benutzt. Bei Verwendung dieses Testers kann sich das Auge ganz auf die Testpunkte konzentrieren, der Blick braucht nicht dauernd zwischen Testobjekt und Meßgerätezeiger zu pendeln.
Zum Aufbau des handlichen Gerätchens sind nur ganz wenige Bauelemente erforderlich, es wird aus einer 1,5 V-Mignonzelle gespeist. Der DUT erweist sich in der Praxis als ausgezeichneter Spürhund, er meldet außer Durchgang u.a. auch Kurzschlüsse, Übergangswiderstände und kalte Lötstellen; Unterbrechungen von Leiterbahnen durch Haarrisse lassen sich ebenfalls orten.

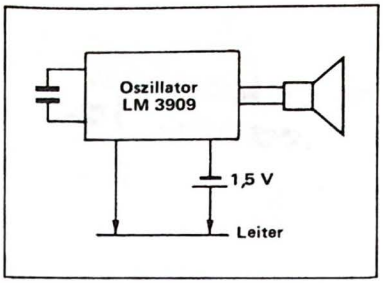


Bild 1. *Das Prinzip des DUT. Die Einfachheit der Schaltung beruht auf dem raffiniert ausgeklügelten Innenleben des LM 3909.*

Schaltungsprinzip

Der Durchgangstester besteht aus einem Oszillator, dessen niederfrequente Schwingungen ein Lautsprecher hörbar macht. Die Prüfspitzen liegen in der Zuleitung der Speisespannung, sie wird von einer einzigen 1,5 V-Mignonzelle geliefert. Der zu prüfende Leitungszug stellt also den „Schalter" dar, mit dem die Speisespannung eingeschaltet wird, das Prinzip ist in Bild 1 schematisch dargestellt.

Der LM 3909, ein ursprünglich für die Spielzeugindustrie entwickelter integrierter Schaltkreis, bildet den Oszillator. Sollten Ihnen schon Spielzeugtiere mit blinkenden LED-Augen begegnet sein, so können Sie mit ziemlicher Sicherheit annehmen, daß in ihrem Innern ein LM 3909 am Werke war. Dieses IC enthält nur relativ wenige Bauelemente, sein Innenleben sowie die Anschlußbelegung des 8poligen DIL-Gehäuses gehen aus Bild 2 hervor. Ein ausgeklügeltes Schaltungskonzept sorgt für sichere Funktion bei nur 1,5 V Speisespannung.

Arbeitsweise des Oszillators

Zur Erläuterung der Arbeitsweise des IC's dient Bild 3; ein einziges externes Bauelement, der Kondensator C genügt, um Oszillatorschwingungen hervorzurufen. Bei der Funktionsbeschreibung bleibt C zunächst außer Betracht. Liegt Batteriespannung an Pin 4 und Pin 5 (+1,5 V an Pin 5), so fließt der Ermitterstrom von über R_6, R_7 und R_8 nach Masse. Der Kollektorstrom von T_1 steuert T 2, letzterer arbeitet mit etwa 3facher Stromverstärkung.

Der Kollektorstrom von T_2 steuert nun T_3 in den Leitzustand, damit verschiebt sich das Potential an der Basis von T_4. Ist T_3 gesperrt, so liegt die Basis von T_4 praktisch auf Batteriespannungspotential. Leitet nun T_3, so wird das Basispotential von T_4 „nach unten" gezogen und gleichzeitig auch über R_4 das Potential an der

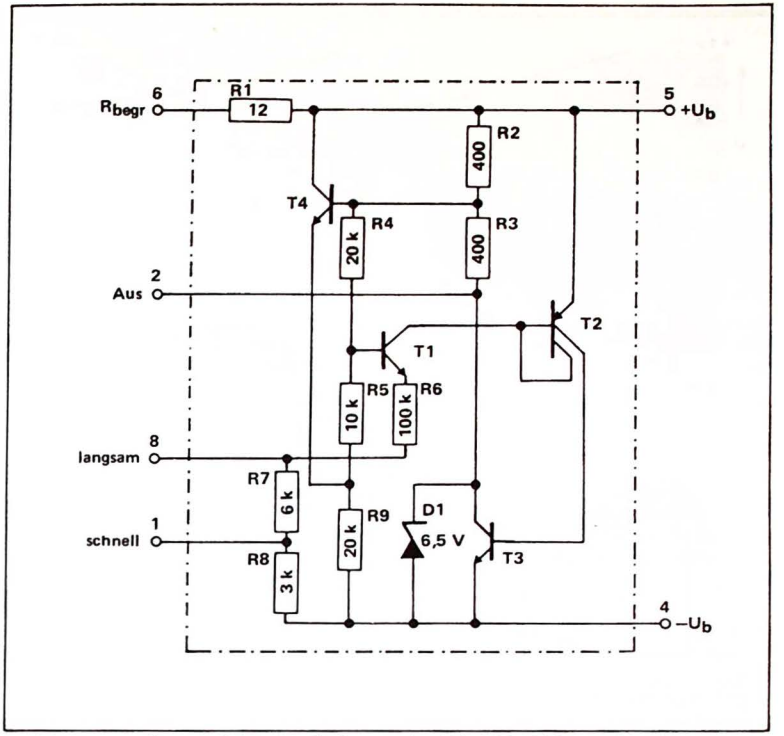


Bild 2. *Innenaufbau und Anschlußbelegung des IC's LM 3909. Das IC wird in einem 8poligen DIL-Gehäuse geliefert, die Pins 3 und 7 sind nicht belegt.*

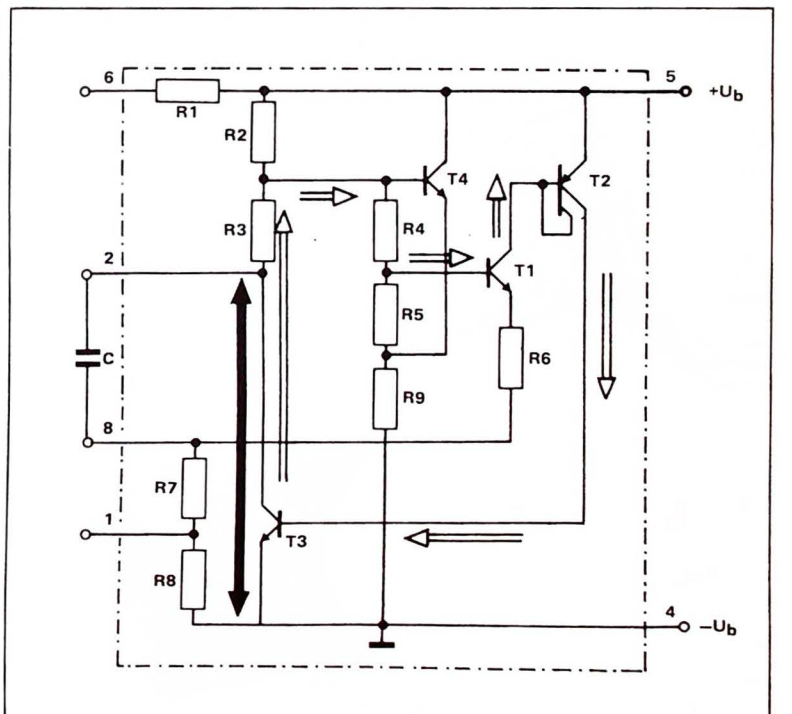


Bild 3. *LM 3909 als Oszillator. Bei der Betrachtung des Schaltbildes ist zu beachten, daß Bild 2 und Bild 3 zeichnerisch nicht deckungsgleich sind!*

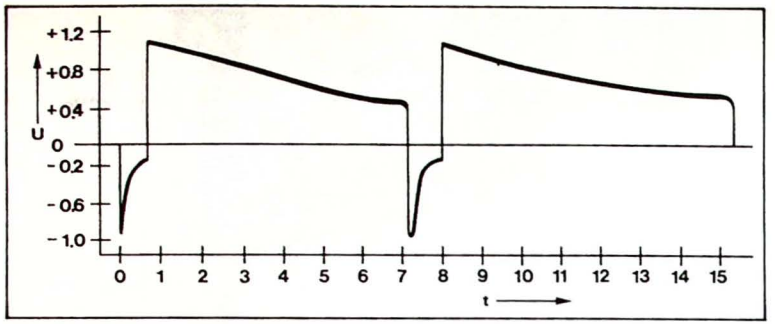


Bild 4. *Kurvenform der Schwingungen des Oszillators nach Bild 3, oszillografiert an Pin 8. Die Zeitachse ist in willkürliche Zeiteinheiten geteilt.*

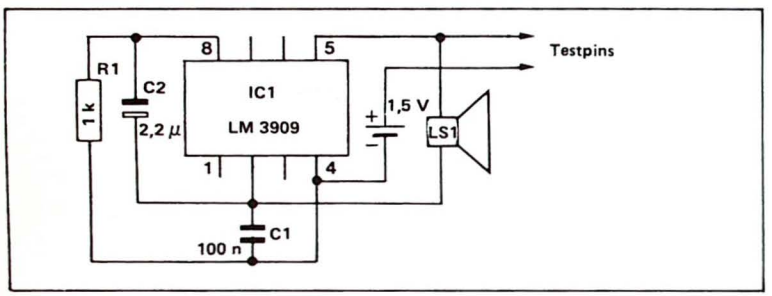
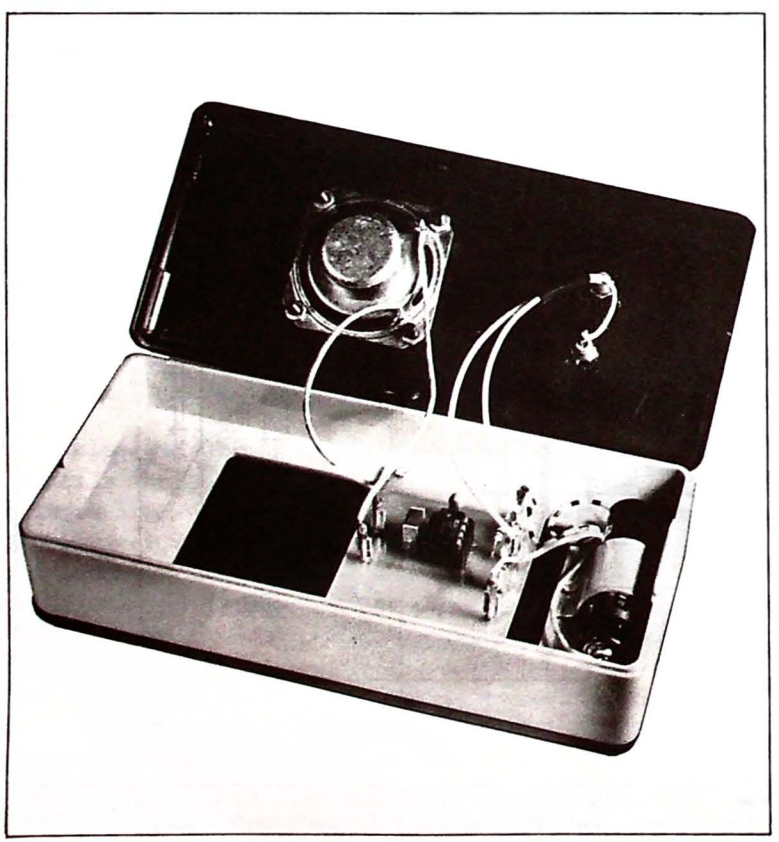


Bild 5. *Das Schaltbild des Durchgangstesters zeigt den minimalen Aufwand an externen Bauelementen.*



Baukosten-Voranschlag DM 29,- mit Gehäuse

Basis von T_1. Es handelt sich hier um eine negative Rückkopplung, da auf diese Weise der Strom durch T_1-R_6-R_7-R_8 abnimmt. Dann liefert aber T_1 weniger Steuerstrom an T_2, die Folge ist, daß auch T_3 weniger Steuerstrom erhält. Im gesamten, in Bild 3 durch offene Pfeile markierten Stromkreis stellt sich ein labiler Gleichgewichtszustand ein. In diesem Zustand fließt über R_6-R_7-R_8 nur ein äußerst geringer Strom nach Masse, so daß Pin 8 praktisch auf Massepotential liegt.

Der labile Gleichgewichtszustand in diesem System wird – und zwar mit voller Absicht – durch hinzufügen von C an Pin 8 und Pin 2 in Bild 3 erheblich gestört. Der Kondensator C lädt sich über R_2 und R_3 auf, damit verschiebt sich das Potential an den Basen von T_4, T_1 und T_2 „nach oben". Die Transistoren werden aufgesteuert, damit erhält auch T_3 ausreichenden Basisstrom, der ihn voll durchschaltet. Der Kondensator C entlädt sich über T_3, dieses Spiel wiederholt sich nun zyklisch in der geschilderten Reihenfolge. Das bedeutet: Die Anordnung schwingt!

Die Frequenz der Oszillatorschwingung hängt in der Hauptsache von der Zeitkonstante des aus C und (R_6 + R_7) gebildeten Gliedes ab, R_2 und R_3 können vernachlässigt werden. Nunmehr läßt sich auch die Bedeutung der Bezeichnungen „Langsam" an Pin 8 und „Schnell" an Pin 1 in Bild 2 erklären. Überbrückt man R_7 in Bild 3 durch eine leitende Verbindung zwischen Pin 1 und Pin 8, so ergibt sich die Zeitkonstante $C \cdot R_8$, der Oszillator schwingt schneller als ohne die Brücke, da sich dann die Zeitkonstante $C \cdot (R_7 + R_8)$ ergibt. Bild 4 zeigt die Form der Oszillatorschwingung. Theoretisch „läuft" unser Oszillator also, es gilt daher nun, die gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen.

Praktische Ausführung

Der Aufbau des Durchgangstesters nach Bild 5 dürfte wohl keine Schwierigkeiten bereiten, selbst die Lötarbeit beschränkt sich auf ein Minimum, da nur vier Pins des LM 3909

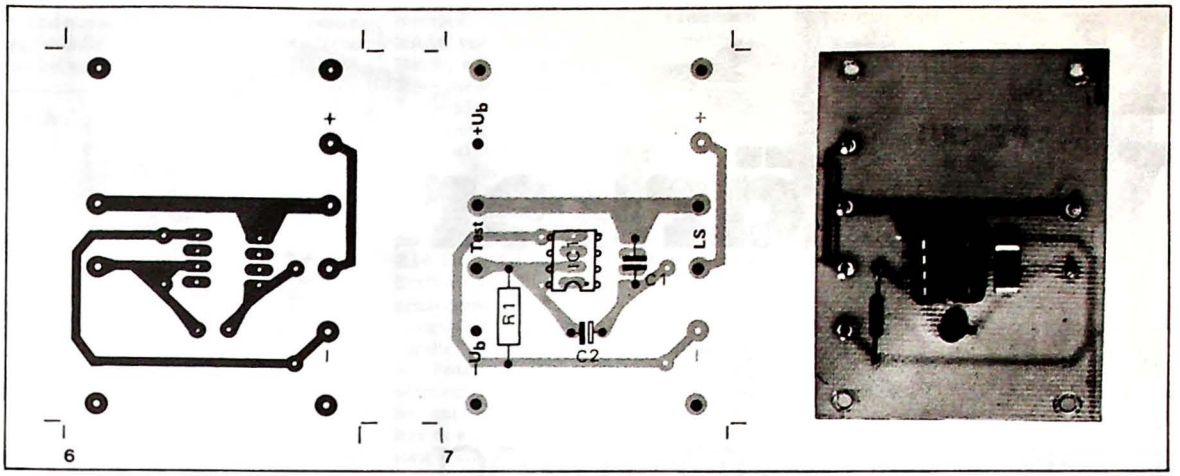


Bild 6, Bild 7. *Layout und Bestückungsplan des kleinen DUT-Prints. Wer noch nie einen Print selbst gemacht hat, könnte mit dem DUT den ersten Versuch wagen, weil er so klein und einfach ist. Der Print kann natürlich noch wesentlich gedrängter aufgebaut werden, denn die unnötig großen Abmessungen wurden nur gewählt, um den zweckmäßigen Einbau in das vorgesehene Kunststoffgehäuse zu ermöglichen. Die vom Hersteller des IC 3909 vorgeschlagenen Schaltungen für dieses IC erfordern alle so wenig Aufwand, daß vorgesehen ist, demnächst einige der Anwendungsmöglichkeiten in P.E. zu beschreiben.*

Stückliste

DUT

WIDERSTAND 1/4 Watt, 5%

R1 = 1 k-Ohm

KONDENSATOREN

C1 = 100 nF, z.B. MKM
C2 = 2,2 µF, 25 V Tantal

HALBLEITER

IC1 = LM 3909 N, 8pol. DIL

SONSTIGES

LS1 = Miniatur-Lautsprecher 40 mm ϕ, 8...25 Ohm
1 x Fassung 8pol. DIL
6 x Lötstifte RTM
6 x Steckschuhe RF
2 x Miniatur-Buchsen 2 mm, mit roter Isolation
2 x Miniatur-Stecker 2 mm, passend zu Buchsen
2 x Prüfspitzen, kleine Ausführung, transportabel im Prestige-Gehäuse
5 x Zyl.-Kopf-Schraube M2,5 x 10 mm
5 x Muttern M 2,5
4 x Senkkopf-Kreuzschlitzschrauben M3 x 10 mm, mögl. schwarz
4 x Muttern M3
1 x Kunststoffgehäuse Typ Prestige
1 x Batterie, 1,5 V, Mignon
1 x Print nach Bild 6/7

beschaltet sind. Der Kondensator C_2 in Bild 5 bestimmt die Oszillatorfrequenz, hier ist auf Einbau mit richtiger Polarität zu achten. HiFi-Qualität ist allerdings nicht zu erwarten, wenn der DUT Töne von sich gibt.

Die Tonhöhe läßt sich nach Geschmack verändern, dazu ist es erforderlich, ein wenig mit den Werten von C_2 zu experimentieren. Da der Oszillator eine sehr oberwellenreiche Schwingung erzeugt, ist das Dämpfungsglied aus R_1 und C_1 vorgesehen.

Das Layout der für den DUT entwickelten Prints zeigt Bild 6, die Bestükkung des Prints ist aus Bild 7 ersichtlich.

Gehäuse

Der Print wurde so bemessen, daß er in das Prestige-Gehäuse paßt; die Fotos zeigen die Anordnung von Print, Batterie, Lautsprecher und Anschlußbuchsen für die Teststrippen. Die Befestigung der Batterie erfolgt mit Hilfe einer kleinen Schelle. Hier muß man sich schon der Mühe unterziehen, sie aus einem Blechstreifen anzufertigen. Sollte sich allerdings in der Bastelkiste noch eine Schelle finden, wie sie früher zur Befestigung von Kondensatoren üblich war, so entfällt auch diese Plage.

Da der Lautsprecher ja nicht nur rückwärts in das Gehäuse hinein strahlen soll, ist dem Schall auch der Weg durch den Gehäusedeckel zu öffnen, an dem der Lautsprecher befestigt werden soll. Die Schallöffnungen bestehen aus Bohrlöchern in Form einer Rosette mit etwa 30 mm Durchmesser, bei deren künstlerischer Ausgestaltung keine Grenzen gesetzt sind.

Sind auch die Anschlußbuchsen für die Teststrippen in den Deckel eingebaut, so steht der „Verdrahtung" nichts mehr im Wege, in Bild 7 sind die Pins bezeichnet. Bei Kurzschließen der Teststrippen muß der DUT ein mehr oder weniger wohlklingendes Geräusch abgeben.

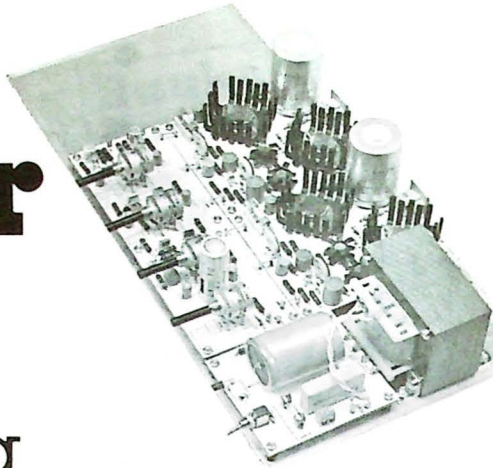
Der DUT in der Praxis

Dazu ist eigentlich wenig zu sagen: Die zu prüfende Leitung an beiden Enden mit den Testpins antippen, quiekt der DUT, so ist Durchgang vorhanden. Quiekt er bei der Überprüfung von Leiterbahnen auf Prints nicht, so fährt man mit einem Testpin die Leiterbahn ab, bis er quiekt, damit ist auch schon eine Unterbrechung lokalisiert.

Ist die Tonhöhe niedriger als „normal", so ist ein Übergangswiderstand vorhanden. Man gewinnt sehr schnell ein Gefühl „für das, was da los ist", wenn man verschiedene niederohmige Bauelemente auf Durchgang testet. Hat man sich mit dem DUT erst einmal eingefuchst, so möchte man ihn bei der praktischen Arbeit nicht mehr missen.

Nachbemerkung. Wie wir erst kurz vor Redaktionsschluß erfahren konnten, ist über den Fachhandel ein Gehäuse zu bekommen, das für den Einbau eines Lautsprechers vorbereitet ist. Es weist eine große Bohrung auf, in das von innen ein zum Gehäuse mitgeliefertes Ziergitter gelegt wird. Damit entfällt die mühevolle Arbeit, eine Menge Bohrungen für den Schallaustritt vornehmen zu müssen.

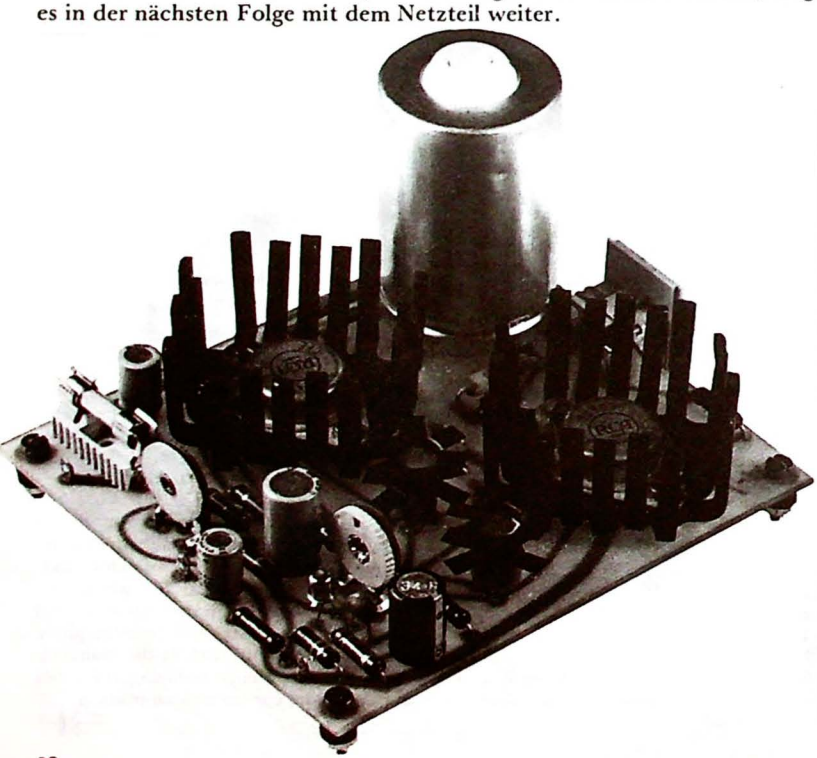
Puzzle-Verstärker



Klare Linie Keine Verdrahtung

Teil 1: Endverstärker

Sie kennen das „Jig Saw Puzzle", ein Geduldsspiel, bei dem 500 oder mehr Teile zusammengesetzt werden müssen, damit ein komplettes Bild entsteht. Wenn es fertig ist, hat es nicht nur einen erkennbaren Bildinhalt, sondern auch ein sauberes, rechteckiges Format.
Der Puzzle-Verstärker setzt sich ebenfalls aus einzelnen Bausteinen zusammen. Alle Funktionsgruppen, nämlich Netzteil, Endverstärker, Einstell-Baustein und Eingangsstufen sind auf getrennten Prints untergebracht, die jedoch sauber zusammenpassen, so daß der fertige Verstärker eine klare Linie hat. Das Titelbild dieser Ausgabe zeigt, wie die Anordnung der Prints vorzunehmen ist; links schließt sich als letzte Ausbaustufe später noch die Eingangsschaltung an.
Damit die 20 W-Endverstärker, die nachfolgend beschrieben werden, möglichst bald betriebsbereit sind, geht es in der nächsten Folge mit dem Netzteil weiter.



Zum Konzept

In allen Bausteinen werden bekannte und bewährte Standardschaltungen verwendet. Es geht bei diesem Entwurf also ausdrücklich nicht um Höchstleistungen im Sinne „allerneuester" oder modernster Elektronik, sondern um einen einfachen, aber ordentlichen Verstärker, der zu einem vertretbaren Preis das bietet, was man im Laden teuer bezahlen muß.
Die Leistung von 20 W je Endstufe mag gering erscheinen, dafür ist es aber die „echte" Leistung, nämlich die Sinusleistung. Legt man das Netzteil noch etwas großzügiger aus, so lassen sich echte 25 W und mehr erzielen.
Im Eingangsteil ist ein Umschalter für vier verschiedene Signalquellen vorgesehen. Dieser Schalter, aber auch alle Potis, Ein- und Ausgangsbuchsen sind für Printmontage vorgesehen, so daß auch für diese Bauelemente keine Verdrahtung erforderlich ist, und so das bekannte Drahtverhau in NF-Verstärkern nicht entstehen kann und die Fummelei mit abgeschirmten Kabeln entfällt. Lediglich

die Trafobeschaltung erfordert Verkabelung, nämlich einige Drähte zum Netzteilprint und das Netzkabel.

Schaltung des Endverstärkers

Bild 1 zeigt die Schaltung des Puzzle-Endverstärkers mit allen Bauteilewerten. Die Funktion zweier Bauelemente dieses Verstärkers soll hier zuvor besprochen werden: R14 und C6. Der Kondensator hilft in erster Linie gegen Brummspannungseinstreueungen in den Speisespannungszuleitungen, indem er Plus und Minus „an Ort und Stelle" wechselspannungsmäßig kurzschließt.

Der Zweck von R14 ist auf den ersten Blick nicht zu erkennen. Ein relativ hochohmiger Widerstand parallel zum niederohmigen 4 Ohm-Lautsprecher? Der kann doch nur dann eine Wirkung haben, wenn der Lautsprecher nicht angeschlossen ist! Richtig, aber das soll ja vorkommen.

Bei der gesamten, schrittweisen Entwicklung eines Verstärkers wird davon ausgegangen, daß der Ausgang, die 1/2 Ub-Schiene, für Wechselspannungen sehr niederohmig, nämlich über den „dicken" Elko C5 und den Lautsprecher an der Speisespannung liegt, und zwar an Masse *und* (über den großen Elko im Netzteil) am Pluspol. Man kann sich leicht vorstellen, daß unvorhersehbare Dinge, z.B. Schwingen, eintreten, wenn diese niederohmige Verbindung entfällt. Ein Widerstand 1 k-Ohm reicht erfahrungsgemäß aus, einen Verstärker dieser Art bei offenem Ausgang stabil zu halten. Im Normalbetrieb schadet er nicht, weil er hochohmig im Vergleich zur Lautsprecherimpedanz ist, zu der er parallel liegt.

R14 hat noch einen weiteren wichtigen Einfluß: Mit Lautsprecher liegt der Gegenkopplungswiderstand gleichspannungsmäßig an Masse und somit liegt er parallel zu R4 und bestimmt mit diesem das Potential an der Basis von T1. Bei offenem Ausgang und ohne R14 wird im unteren Teil des Basisspannungsteilers nur R4 wirksam, das Basispotential steigt an und die Gleichspannungseinstellung der Stufe ist erheblich verschoben. Auch diese Erscheinung kann unangenehme Folgen haben. Mit R14 liegt das obere Ende von R13 auch bei offenem Ausgang an Masse; daß er jetzt 48 k-Ohm statt 47 k-Ohm beträgt, macht dabei nichts aus. Selbst wenn aber bei offenem Ausgang und ohne R14 der Verstärker so stabil bleiben sollte, daß nichts kaputt geht, passiert folgendes: Über R13 lädt sich die rechte Seite von Kondensator C5 auf die Spannung, die an der Basis von T1 herrscht. Die Spannung ist nicht hoch, aber beim Anschließen des Lautsprechers gibt es einen störend starken „Plop". R14 verhindert auch dies.

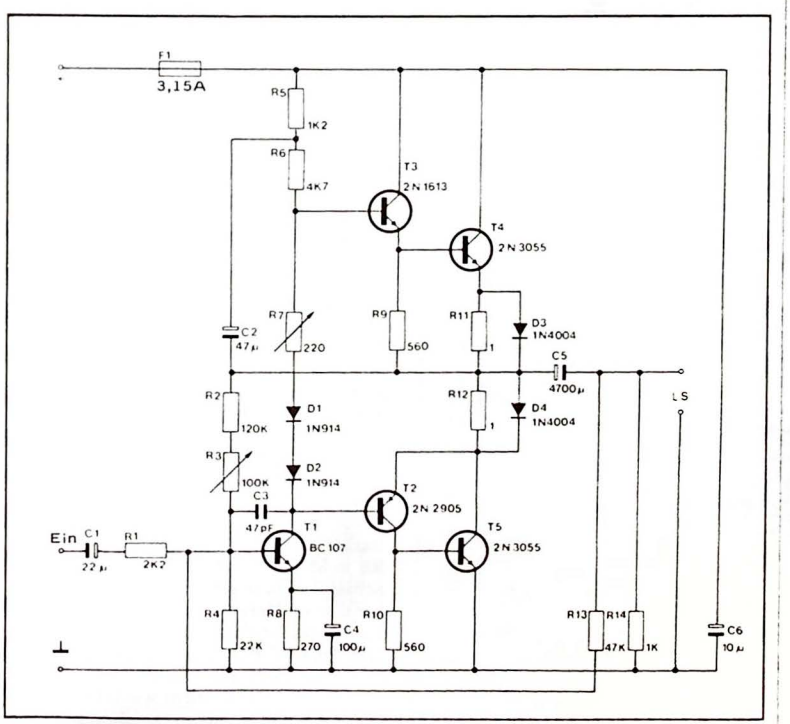
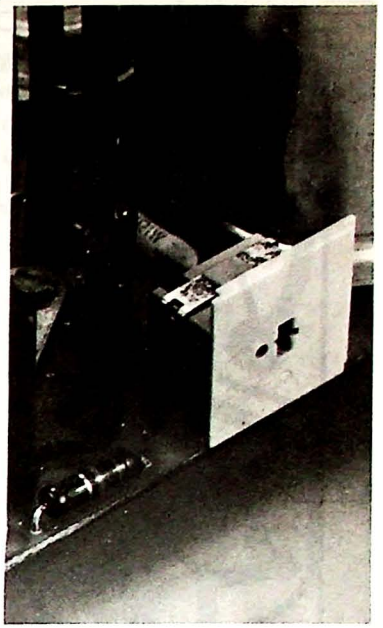


Bild 1. *Das Schaltbild des Puzzle-Endverstärkers. Bei ca. 50 V Speisespannung hat diese Endstufe eine Sinusleistung von ca. 20 Watt. Dies ist, gemessen an dem geringen Aufwand an Bauelementen, ein guter Wert. Dieses günstige Verhältnis Aufwand zu Nutzen läßt sich allerdings nur erreichen, wenn man auf die moderne Konzeption „ohne Ruhestromeinstellung" verzichtet und Trimmer zur optimalen Gleichspannungseinstellung des Verstärkers in Kauf nimmt.*



Bauhinweise

Die breiten Kupferbahnen des Prints (Bild 2) führen den Laststrom. Es ist zweckmäßig, sie zusätzlich zu verzinnen. Die Transistoren 2N3055 werden mit den Kühlfingern auf den Print geschraubt, und zwar ohne Isolier-Garnitur. Die Kühlfinger dürfen im späteren Betrieb nirgendwo an Metall stoßen.

Wie versprochen, befinden sich alle Bauteile auf dem Print. Als Lautsprecherbuchse sind zwei Ausführungen im Handel. Bekommt man die Ausführung mit Schaltkontakt, so paßt der Print. Andernfalls muß man ein Loch zusätzlich bohren, es trifft die richtige Leiterbahn. Allerdings: Japanische Typen passen nicht!

Der in der Stückliste angegebene Elko C5 besteht nicht aus zwei Teilkapazitäten (s. Bestückungsplan), sondern ist ein „gewöhnlicher", stehender Elko, aber die Pins passen und die Anschlüsse stimmen.

Die gewählte Art des Verstärkeraufbaus hat mehrere Vorteile. Bei durchdachtem Printlayout ist (mit Ausnahme der Netztrafoanschlüsse) keine Verdrahtung erforderlich, denn die Verbindungen kommen durch kurze, blanke Drahtstücke zustande, die an den betreffenden Schaltungspunkten die „Nahtstellen" überqueren. Der nächste Vorteil: Alle Funktionsgruppen können getrennt unter

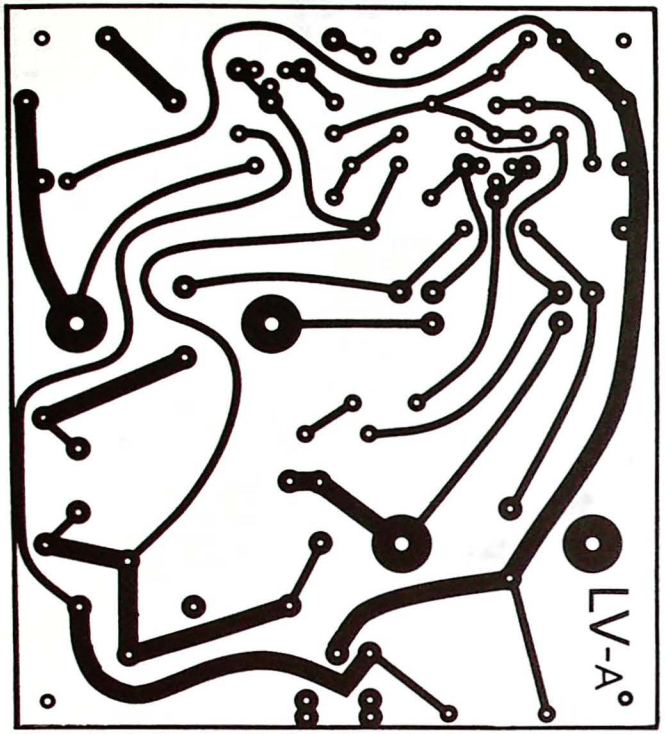
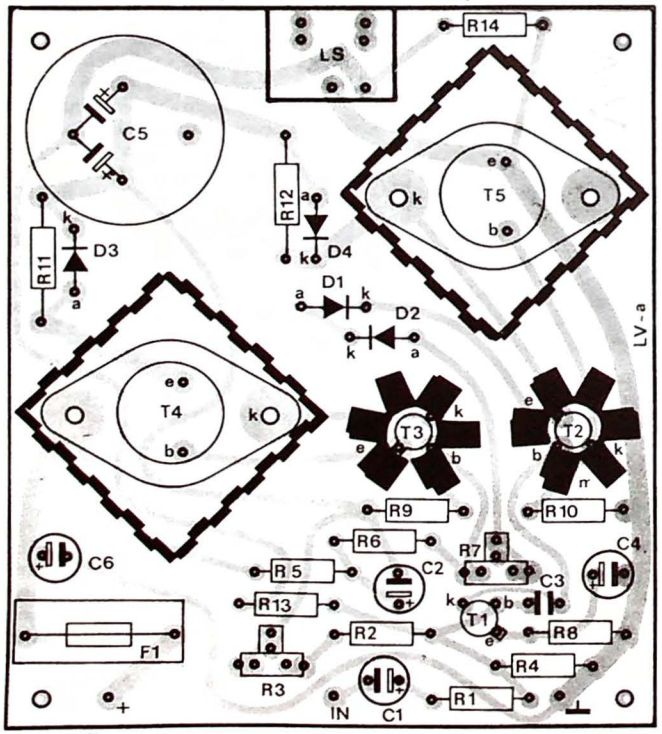


Bild 2. *Die breiten Kupferbahnen führen den Lautsprecherstrom und kennzeichnen die hochbelasteten Speisespannungsleitungen.*

Bild 3. *Bestückungsplan. Bei einer anderen gängigen Lautsprecherbuchse (LS) liegt der einzige unsymmetrische Pin auf der anderen Seite.*



Baukosten-Voranschlag

DM 42,50

Spannung gesetzt und einzeln betrieben und getestet werden.
Schließlich ist es möglich, die Bausteine einzeln und unabhängig voneinander zu verwenden, oder sie, wenn es dafür Gründe gibt, anders anzuordnen, z.B Netzprint und Trafo hinter den anderen Prints zu montieren.

Einstellen des Verstärkers

Es gibt längst NF-Verstärker, die ohne Trimmer auskommen. Daß die Einstellung der Endstufe bei solchen Geräten optimal ist, kann man nur hoffen. Mit Trimmer weiß man es.
Mit R7 wird der Ruhestrom auf einen Wert eingestellt, der einerseits so hoch ist, daß die Darlingtons genügend Vor-Spannung haben, der aber andererseits nicht so hoch ist, daß in den Endtransistoren zuviel Wärme erzeugt wird.
Mit R3 kann das Ausgangspotential vor dem Elko C5 auf genau 1/2 Ub eingestellt werden, so daß die Endstufe auf jeden Fall symmetrisch gesteuert und ihre Leistungsfähigkeit voll genutzt wird.
Zunächst muß man natürlich Ub irgendwo her nehmen, andernfalls ist auf die Beschreibung des Puzzle-Netzteils zu wachten.
Das Netzteil gibt im Leerlauf, d.h. bei angeschlossenem, aber nicht gesteuertem Verstärker eine Spannung von etwas mehr als 50 V ab. Vorläufig kann man den Verstärker auch mit einer wesentlich niedrigeren Spannung betreiben, natürlich ist die Ausgangsleistung dann ebenfalls niedriger. Speisespannungen über 55 V sind nicht zulässig.
Ändert sich die Speisespannung durch Verwendung eines anderen Netzteils, so sind die beiden nachfolgend beschriebenen Einstellmaßnahmen erneut durchzuführen.
Bevor man den (bzw. die beiden) Verstärker unter Spannung setzt, dreht man R3 in Mittelstellung, R7 zum linken Anschlag (Uhrzeiger-gegensinnig). Dann kann man Netzteil und Verstärker verbinden (auf die richtige Polarität achten, also Plus an Plus und Minus an Masse) und die Spannung einschalten. Mit einem Vielfachinstrument wird die Speisespannung im passenden Gleichspannungsbereich gemessen, der Meßwert notiert. Dann trennt man bei abgeschaltetem Netzteil die Plusleitung zwischen Netzteil und Verstärker wieder auf, legt das Meßinstrument anstelle der ursprünglichen Verbindung in den Stromkreis

Stückliste

Bauteile für einen Kanal

KONDENSATOREN, RM 5

C1 = 22 µF, 25 V
C2 = 47 µF, 40 V
C3 = 47 pF, ker. Scheibe
C4 = 100 µF, min. 16 V
C5 = 4700 µF, 40 V, 4pin-Ausführung Typ ELN nach DIN
C6 = 10 µF, 63 V

WIDERSTÄNDE 1/4 Watt, 5%

R1	*= 2,2 k-Ohm*
R2	*= 120 k-Ohm*
R3	*= 100 k-Ohm, Trimmer RM 10x5 oder 5x2,5*
R4	*= 22 k-Ohm*
R5	*= 1,2 k-Ohm*
R6	*= 4,7 k-Ohm*
R7	*= 220 Ohm, Trimmer RM 10x5 oder 5x2,5*
R8	*= 270 Ohm*
R9, R10	*= 560 Ohm*
R11, R12	*= 1 Ohm, 1 Watt !*
R13	*= 47 k-Ohm*
R14	*= 1 k-Ohm*

HALBLEITER

D1, D2 = 1N4148 (1N914)
D3, D4 = 1N4004
T1 = BC 107 oder Äquiv., z.B. BC 547
T2 = 2N2905
T3 = 2N1613
T4, T5 = 2N3055

SONSTIGES

F1 = Feinsicherung 3,15 A mittel
LS = DIN-Lautsprechersteckdose, Printausf., mit Schaltkontakt, sonst LB3H (90°)
1 x Sicherungshalter RM 22,5
2 x Kühlsterne Größe 5 für T2, T3
2 x Fingerkühlkörper für T4, T5
3 x Lötstifte RTM
3 x Steckschuhe RF
4 x Zyl.-k.-Schl.-schr. M3x10 mm
4 x Zyl.-k.-Schl.-schr. M3x15 mm
8 x Muttern M3
1 x Print nach Bild 2/3

(Plus des Instr. an Plus Netzteil, Minus des Instr. an Plus Verstärker), schaltet ein und stellt den Ruhestrom mit R7 auf 35 Milliampere ein; das Instrument wird vorher auf einen passenden Gleichstrommeßbereich eingestellt.
Anschließend wird bei abgeschaltetem Netzteil die ursprüngliche, direkte Plusverbindung wiederhergestellt. Dann verbindet man den Minusanschluß des Meßgerätes mit Masse des Verstärkers, der Plusanschluß kommt an die Anode von D4. Mit R3 stellt man die Spannung auf 1/2 Ub ein. Ub ist die Spannung, die man zu Anfang gemessen und notiert hat.

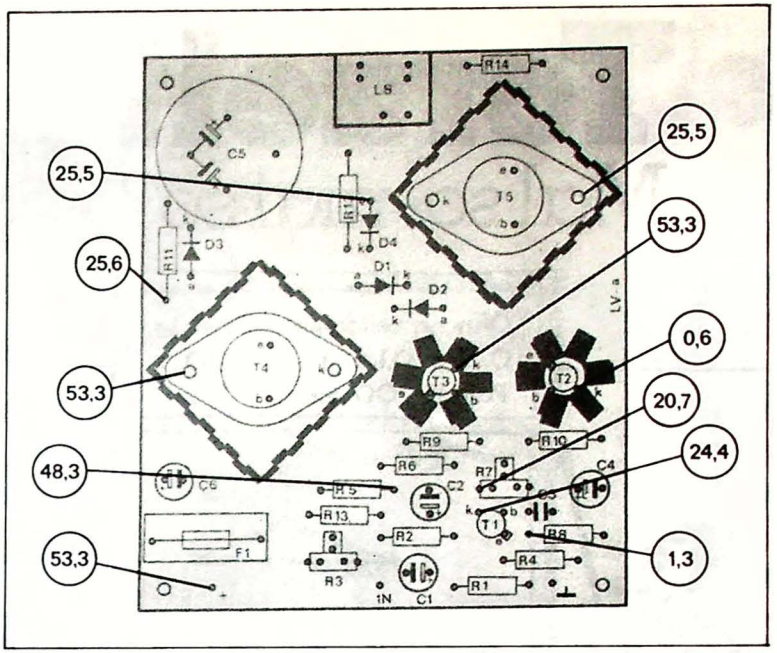
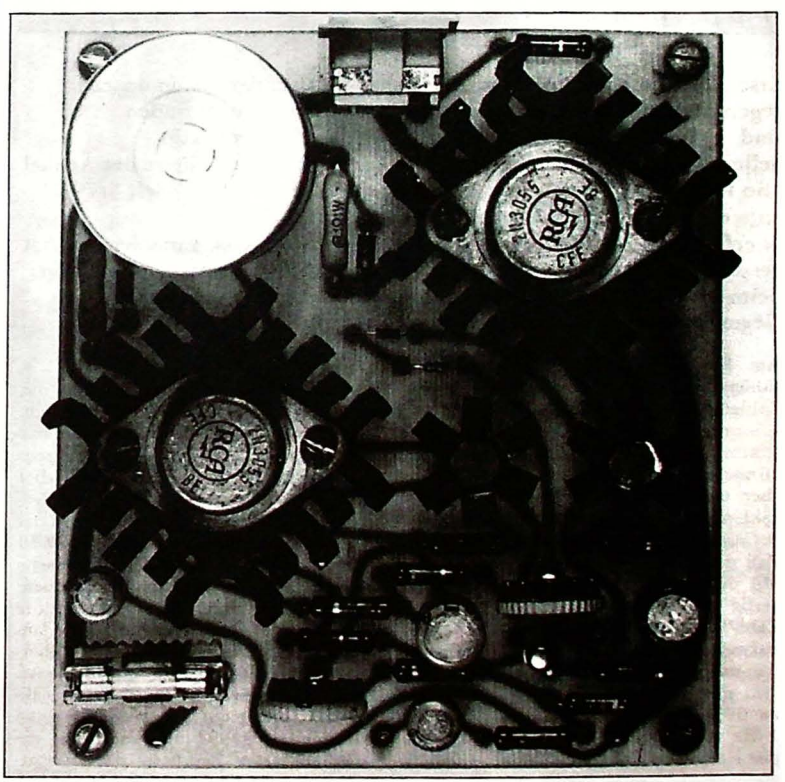
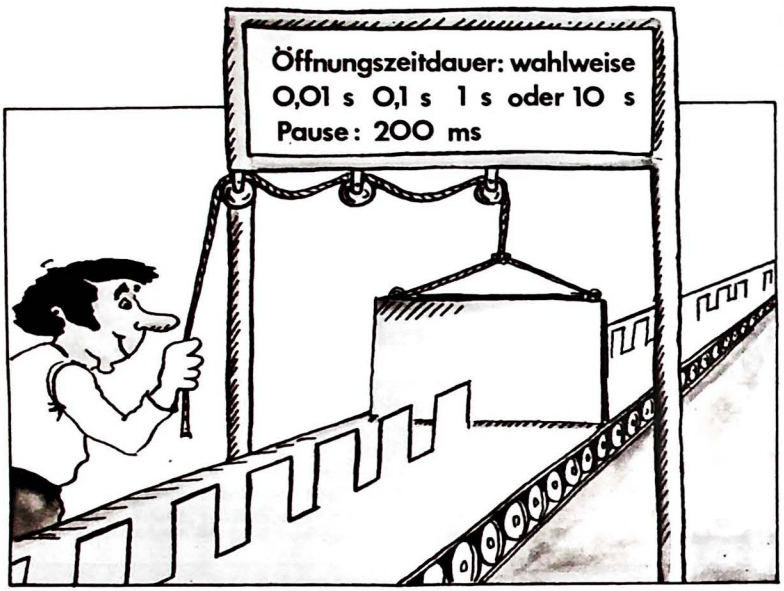


Bild 4. *Spannungsplan des Puzzle-Endverstärkers. Die Spannungen wurden mit einem Vielfachinstrument mit einem Innenwiderstand von 20 k-Ohm/Volt gemessen, die Speisespannung hatte den Betrag 53,3 Volt. Da alle Transistorstufen gleichspannungsgekoppelt sind, kann ein defektes Bauelement, eine kalte Lötstelle usw. die Einstellung der gesamten Schaltung beeinflussen. Es ist deshalb trotz des Spannungsplans in diesem Fall nicht einfach, von den festgestellten Abweichungen auf ein bestimmtes, defektes Bauelement zu schließen.*



Torzeit

Mal so-mal so?



Erscheinen in einer Publikation gleichzeitig zwei Artikel, in denen gegensätzliche Informationen zum gleichen Problem zu finden sind, so bezeichnet man das in der Journalistik als redaktionellen Kurzschluß. Dieser Eindruck könnte bei der Lektüre der Artikel „So funktioniert das" und „Frequenzzähler '79" im P.E. Heft 3/79 entstehen, wenn man die Ausführungen zum Thema Torzeit nur oberflächlich betrachtet. Einmal (DVM) wird von variabler Torzeit gesprochen, deren Dauer von dem Betrag der Eingangsspannung abhängt; beim Frequenzzähler hingegen ist die Rede von festen Torzeiten. Gegensätze – und doch keine – wie nachfolgend aufgezeigt wird.

Am Eingang jedes digitalen Frequenzzählers befindet sich ein „Tor", das Zählgatter, dessen Öffnungsdauer bestimmt, wieviele Impulse bei einer bestimmten Eingangsfrequenz passieren können, um gezählt zu werden. Da aber die Frequenz f (in Hz) als Anzahl der Schwingungen pro Sekunde definiert ist, wird man im einfachsten Fall die Torzeit auf genau 1 s festlegen. Mit der Torzeit von 1 s ist aber gleichzeitig auch vorausbestimmt, welche Zähl- und Anzeigekapazität der Zähler aufweisen muß, wenn man auf 1 Hz genau messen will.

Will man beispielsweise Frequenzen bis zu 9999 Hz mit einer Genauigkeit von 1 Hz messen und anzeigen, so ist dazu ein vierstelliger Dekadenzähler mit vierstelliger Anzeige erforderlich.

Verringert man die Torzeit auf 0,1 s, so wäre bei der gleichen Frequenz nur ein dreistelliger Zähler erforderlich, denn innerhalb von 0,1 s können ja nur 999 Impulse das Zählgatter passieren. Gleichzeitig verschlechtert sich aber auch die Auflösung und damit die Anzeigegenauigkeit, denn man müßte ja das angezeigte Ergebnis von 999 mit 10 multiplizieren, um die gemessene Frequenz in Hz angeben zu können. Das Resultat dieser Berechnung würde dann 9990 Hz und nicht 9999 Hz lauten, ein Fehler von 9 Hz, der bei überschlägigen Messungen vertretbar ist. Würde man bei einem fünfstelligen Zähler die Torzeit auf 10 s verlängern, so könnten es 99994 Impulse sein, die während dieser Zeitdauer das Zählgatter passieren. In diesem Fall müßte aber das angezeigte Resultat duch 10 geteilt werden, um die Frequenz in Hz anzugeben, somit ergibt sich die Frequenz mit 9999,4 Hz. Wer sich also für jede Messung mindestens 10 s Zeit läßt, der kann auch noch eine Stelle hinter dem Komma erfassen.

Das Fazit: Bei Frequenzmessungen ist ein konstante Torzeit erforderlich, sie muß überdies sehr genau eingehalten werden, weil davon die Meßgenauigkeit abhängt. Außerdem besteht ein Zusammenhang zwischen Torzeit und Stellenzahl des Zählers.

Bei einem Digitalvoltmeter kann die Umwandlung des analogen Eingangswertes – der Meßspannung – in ein digital zu verarbeitendes Signal nach unterschiedlichen Methoden erfolgen. Das Resultat der Umwandlung muß aber stets eine Impulsreihe sein. die der im DVM enthaltene Zähler verarbeiten kann. Die analoge Eingangsspannung und die Anzahl der Impulse müssen in einem definierten Zusammenhang stehen, die Anzahl der Impulse muß proportional zu der Eingangsspannung sein. Der Umsetzungsfaktor, das Verhältnis von Spannungsbetrag zu Impulszahl, könnte willkürlich festgelegt sein. Da wir aber im dekadischen System zählen und rechnen, wird man nach Möglichkeit stets einen Umsetzungsfaktor wählen, der durch 10 teilbar ist.

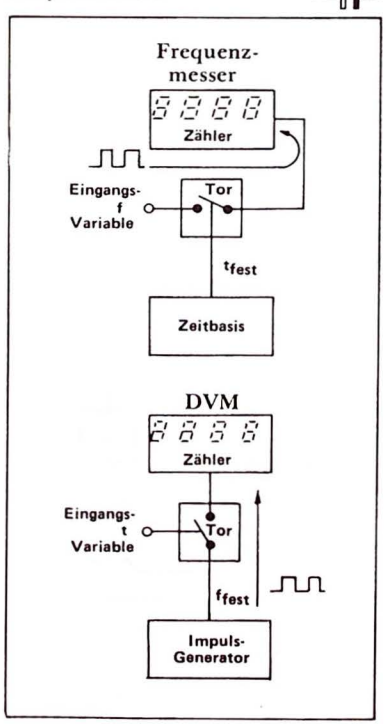
Bei dem in Heft 3 geschilderten Umwandlungsprinzip eines DVM's wird der Analogwert der Eingangsspannung in eine proportionale Zeitdauer umgewandelt, denn die Breite des am Komparatorausgang stehenden Impulses ist das Maß für eine Zeitdauer. Diese, sich proportional zu der Eingangsspannung verändernde Zeitdauer kann als Torzeit dienen, wenn man das beim Frequenzzähler angewendete Prinzip „feste Torzeit und variable Eingangsfrequenz" umkehrt. Es lautet dann: „Variable Torzeit und konstante Eingangsfrequenz".

Das läßt sich sehr einfach realisieren, wenn man den Ausgang eines sehr frequenzkonstanten Impulsgenerators mit dem Eingang des Zählgatters verbindet. Dann ist nur noch der Umsetzungsfaktor festzulegen, das heißt: wieviele Impulse 1 V entsprechen sollen. Nun läßt sich ein Zusammenhang zwischen analoger Eingangsspannung und Torzeit herstellen, indem man beispielsweise die Schaltung so auslegt, daß eine Impulsbreite von 1 s einer Eingangsspannung von 1 V entspricht. Wenn man nun weiter den zweiten Umsetzungsfaktor mit 1000 Impulsen gleich 1 V ansetzt, dann herrscht wieder Proportionalität bis zum Zählereingang, der Impulsgenerator müßte stets mit einer Frequenz von genau 1000 Hz schwingen. Unter diesen Voraussetzungen würde sich bei einer analogen Eingangsspannung von 0.682 V eine

Torzeit von 0,682 s ergeben, während dieser Zeit könnten 682 Impulse durch das Zählgatter flitzen. Bei vierstelliger Anzeige würde das Resultat dann 0682 lauten. Wird nun noch der Dezimalpunkt im ersten Display aktiviert, so ergibt sich die Anzeige 0.682, und zwar in Volt.

Das Beispiel zeigt, daß sich mit diesem Umsetzungsverfahren eine hohe Auflösung erreichen läßt, Spannungen im Millivoltbereich können noch einwandfrei gemessen und angezeigt werden. Würde ein Umsetzungsfaktor von 10.000 Hz/V gewählt, so könnte man bei fünfstelliger Zähl- und Anzeigekapazität sogar Spannungen mit einer Auflösung von 100 Mikrovolt messen, und zwar bei der gleichen Torzeit wie vorher. Es besteht also ein Zusammenhang zwischen Umsetzungsfaktor und Auflösung. Will man die hohe Auflösung ausnutzen, so muß selbstverständlich der Zähler im DVM die entsprechende Zähl- und Anzeigekapazität aufweisen.

Feste Torzeit und variable Eingangsfrequenz einerseits und variable Torzeit und feste Eingangsfrequenz sind also keine Gegensätze, denn der Zähler gehorcht in beiden Fällen dem gleichen Gesetz: $f = 1:t$; bei der zweiten Methode wurde nur die Formel umgestellt in $t = 1:f$. Das Ergebnis ist in beiden Fällen die Anzeige der gezählten Impulse, beim Frequenzzähler ist es der direkte Weg, beim DVM wird auf verschlungenen Pfaden Proportionalität zwischen analogem Eingangswert und angezeigter Frequenz erzielt.



Universelle Triac-Steuerung

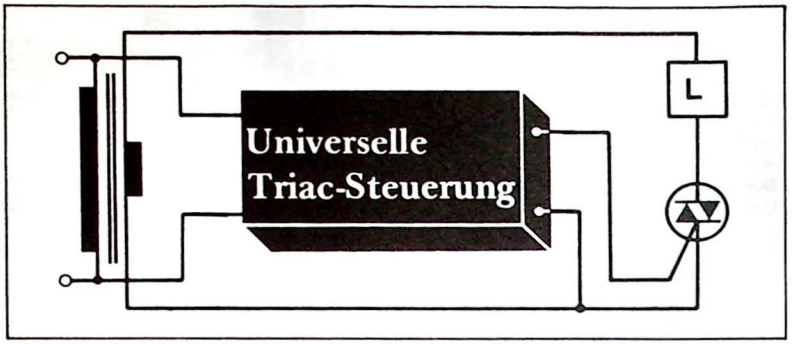
Ein-und Ausgang variationsreich zu beschalten

Eine Triac-Steuerung dient im allgemeinen dazu, einen Verbraucher, der mit 220 Volt-Netzwechselspannung betrieben wird, im Phasenanschnitt oder mit sogenannten Schwingungspaketen zu steuern. Beim Phasenanschnittverfahren schaltet der Triac während jeder Halbwelle der Wechselspannung den Verbraucher bis zum nächsten Nulldurchgang ein. Der Zeitpunkt des Einschaltens bestimmt die Leistung, die dem Verbraucher zugeführt wird. Die Schwingungspaketsteuerung schaltet den Verbraucher für eine wählbare Anzahl Perioden der Wechselspannung ein, dann folgt eine Steuerpause. Diese Steuerung hat den Vorteil, daß der Ein- und der Ausschaltzeitpunkt mit dem Nulldurchgang der Wechselspannung zusammenfallen, so daß die Schaltvorgänge keine Störspannungsspitzen auf der Netzleitung erzeugen.

Die hier beschriebene universelle Triacsteuerung arbeitet nach dem Phasenanschnittverfahren. Universell heißt sie aus folgenden Gründen: Der gesamte Schaltungsaufbau ist „schwebend", d.h. obwohl die Steuereinheit aus dem Netz gespeist wird, hat ihr Ausgang, an dem der Triac angeschlossen wird, kein absolutes Bezugspotential. Somit kann der Triac in jede fremde Verbraucherleitung geschaltet werden. Außerdem ist es nicht erforderlich, daß es sich um einen 220 V-Verbraucher handelt. Es können ebenfalls z.B. 12 V- oder 24 V-Lampen, die üblicherweise mit 50 Hertz-Wechselspannung betrieben werden, mit der Steuereinheit gefahren werden (Dia-Projektor-Lampen), aber auch Modellbau-Motoren usw. Die obere Grenze für die zu schaltende Spannung ist durch die Daten des verwendeten Triacs gegeben.

Interessanter aber als die Beschaltungsmöglichkeiten des Ausgangs dürften die variablen Eingangsbedingungen sein. Wie hell eine hinten angeschlossene Lampe leuchtet oder wie schnell ein Motor läuft, kann man auf sehr unterschiedliche Arten „programmieren." Z.B. mit einem Poti, aber auch mit einer LDR-Anordnung, die eine beleuchtungsabhängige Steuerung macht. Angegeben wird auch eine Schalter-Mimik: Legt man den Schalter um, so geht die angeschlossene Lampe langsam an, schaltet man zurück, so geht sie langsam wieder aus. Die Triac-Steuerung bietet also tatsächlich zahlreiche Möglichkeiten. Wozu man sie benutzen kann? Der Entwickler meint: „Eine Schaltung, die wir für Sie entworfen haben, deren Einsatzmöglichkeiten Sie jedoch selbst entdecken müssen."

Universelle Triac-Steuerung



Wer schon bis zum Schaltbild weitergeblättert hat, wird sich vielleicht die Frage stellen, ob es tatsächlich nötig ist, eine gänzlich neue Schaltung zu entwikkeln. Schließlich gibt es Lichtdimmerschaltungen mit Triacs wie Sand am Meer, auch P.E. hat eine solche schon gebracht, und es müßte doch möglich sein, eine Dimmerschaltung etwas umzufriemeln, damit sie universell(er) eingesetzt werden kann. Zur Bohrmaschinensteuerung eignet sich der P.E.-Dimmer ja bereits.

Leider macht die Elektronik in der Praxis nicht alles mit, was man sich so ausdenkt. Die Schaltung des Lichtdimmers läßt sich nämlich nicht für die Steuerung solcher Verbraucher, die an niedrigen Wechselspannungen betrieben werden, umbauen, und zwar prinzipiell nicht.

Dazu zunächst die vereinfachte Dimmerschaltung in Bild 1. In Bild 2 ist für die wichtigsten Schaltungspunkte der zeitliche Verlauf der Spannung angegeben.

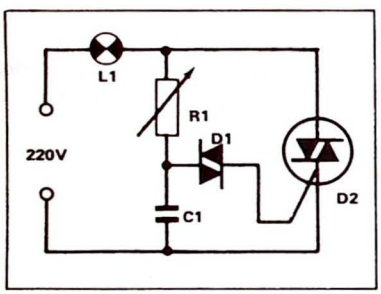


Bild 1. *Die einfache Schaltung des klassischen Dimmers ist für den Betrieb an niedriger Wechselspannung nicht geeignet.*

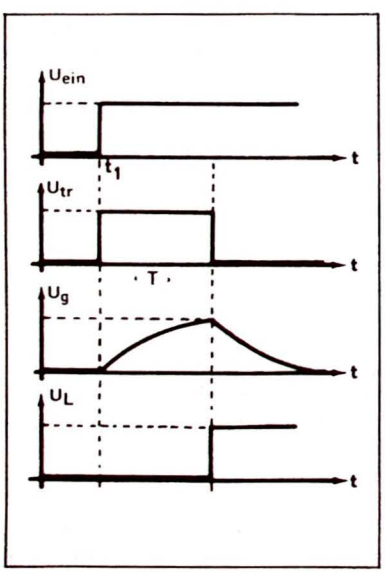


Bild 2. *Der zeitliche Verlauf der Spannung an den Schaltungspunkten des Dimmers nach Bild 1, wenn eine Gleichspannung angelegt wird (Zeitpunkt t1).*

Der Einfachheit halber sei angenommen, daß die Schaltung nicht mit einer Wechselspannung gespeist, sondern mit einer hohen Gleichspannung U_{ein} betrieben wird, die zum Zeitpunkt t1 sofort „voll da" ist. An dieser Spannung liegt die Reihenschaltung aus dem Verbraucher L1 und dem elektronischen Schalter, Triac D2. Der Triac sperrt zunächst, über seinen Anschlüssen steht die volle Spannung (zweite Zeile in Bild 2). Vom Zeitpunkt t1 an beginnt sich der Kondensator C1 über den Widerstand R1 zu laden. Der Verlauf des Ladevorgangs ist in Zeile 3 dargestellt. Wenn die Ladespannung einen bestimmten Betrag erreicht hat, zündet der Triac D2. Maßgebend ist hierfür der Diac D1, er hat eine bestimmte Durchschlagspannung; im Augenblick des Durchschlags fließt Strom aus dem geladenen Kondensator, der jetzt als Spannungsquelle wirkt. Der Strom fließt über D1 und die Strecke Gate/unterer Anschluß des Triacs. Der Triac zündet sofort, d.h. seine beiden Laststromanschlüsse werden intern miteinander verbunden, der Laststrom fließt bis zum Abschalten der Speisespannung; im Wechselspannungsbetrieb tritt dieses „Abschalten" automatisch, nämlich beim nächsten Nulldurchgang der Wechselspannung ein.

Warum kann dieses System nicht bei einer niedrigen Speise-Wechselspannung verwendet werden? Der Diac hat eine Durchschlagspannung von 25...30 Volt. Hat die Speisespannung einen geringeren Betrag, so kann der Triac niemals zünden, denn die Ladespannung des Kondensators erreicht nicht die Durchschlagspannung des Diac. Die Wechselspannung, an der das System arbeitet, muß somit mindestens 30 Volt betragen.

Das ist aber noch nicht alles. Das Glied R1/C1 wirkt während des Ladevorgangs wie ein Spannungsteiler. Für Wechselspannung ist der Kondensator ja kein Isolator, sondern hat einen bestimmten Wechselstromwiderstand, dessen Betrag von der Frequenz der Wechselspannung und von der Kapazität abhängt. Dieser Widerstand bildet mit R1 einen Spannungsteiler für die Speisespannung, so daß am Kondensator alleine nur ein Teil der Spannung auftritt. Und dieser Teil muß mindestens 30 Volt betragen, damit der Triac gezündet werden kann. Es ist leicht einzusehen, daß solche einfachen Triacschaltungen erst bei Wechselspannungen ab ca. 100 Volt zuverlässig arbeiten.

Die aktive Zündschaltung

Von passiven Schaltungen spricht man, wenn im betrachteten Funktionsbereich kein Verstärkerelement vorhanden ist; so ist z.B. eine Gleichrichterschaltung hinter einem Netztrafo passiv, ebenso ein Widerstandsmischer in einem Mischpult. Aktiv sind alle Transistorstufen, aber dem Sinne nach auch der Triac in der soeben besprochenen Schaltung, weil eine kleine Steuerleistung (Zündim-

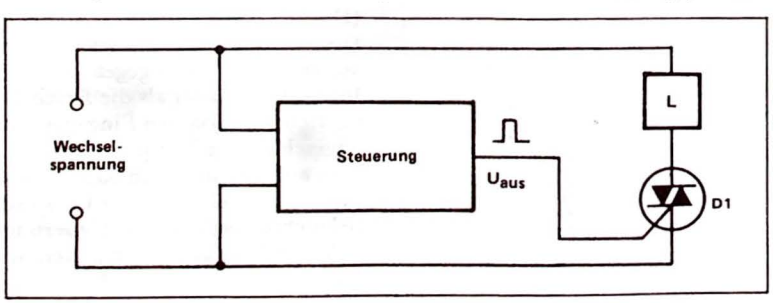


Bild 3. *Das einfachste denkbare Blockschaltbild der universellen Triac-Steuerung. Die Schaltung steht in Verbindung mit der Netzspannung, weil sie wissen muß, wann sie durch Null geht. In dem Block beginnt daraufhin eine Verzögerungszeit zu laufen, ist sie vorbei, so schaltet der Triac bis zum Ende der Halbwelle die Last ein.*

puls-Leistung) eine viel größere Nutzleistung steuert bzw. auslöst.
Der Diac dagegen ist ein passives Element; wenn man ihn durch eine geeignete Elektronik ersetzt, funktioniert eine Phasenanschnittsteuerung auch bei niedrigeren Speisespannungen. Am Prinzip des Phasenanschnitts ändert sich nichts. Auch jetzt beginnt mit einem Nulldurchgang der Wechselspannung eine bestimmte Verzögerungszeit zu „laufen", ist sie vorbei, dann wird der Triac gezündet, er verbleibt für den Rest der Halbwelle im Leitzustand.
In den Bildern 3 und 4 ist das Prinzip angegeben. Die Reihenschaltung aus Triac D1 und Verbraucher L liegt an einer Wechselspannung. Den Triac interessiert es nicht, wie hoch die Wechselspannung ist; wenn der Verbraucher z.B. eine 6 Volt-Lampe sein sollte, die an Wechselspannung betrieben werden soll, so macht der Triac diese Betriebsweise mit.
Die Schaltung, die den Zündimpuls für das Gate des Triacs erzeugt, liegt ebenfalls an der Wechselspannung, sie ist in Bild 3 als Block dargestellt. Diese Funktionseinheit interessiert sich ebenfalls nicht für die Höhe der Wechselspannung, aber sie muß eine Information darüber bekommen, wann die Wechselspannung ihre Polarität ändert, bzw., um es anders auszudrücken, wann der

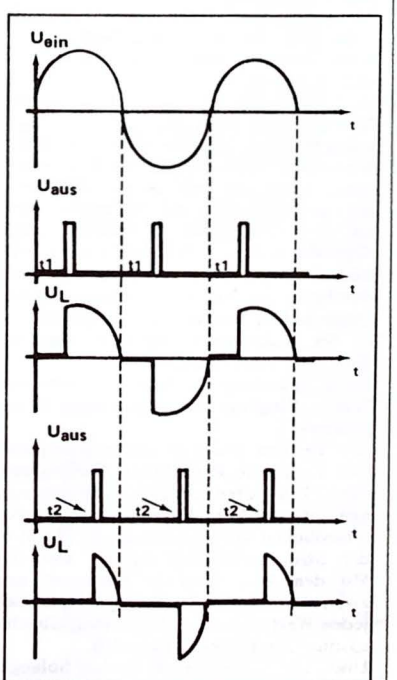
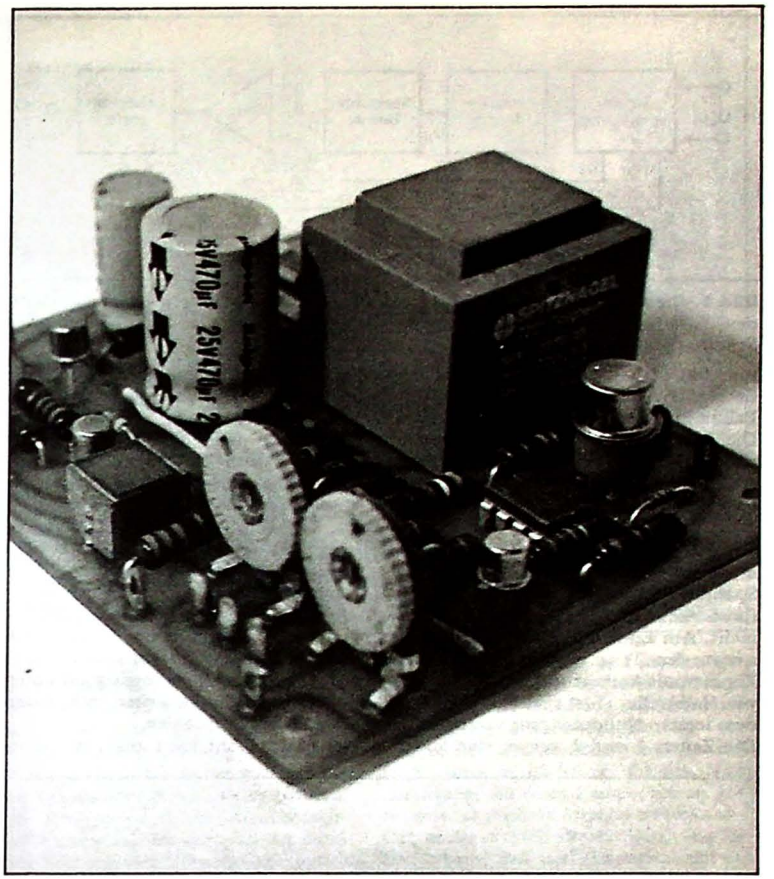


Bild 4. *Zwei Beispiele für die Funktion der Schaltung. Die in Bezug auf den Nulldurchgang der Netzwechselspannung zeitlich verschobenen Impulse schneiden die Halbwellen an, so daß eine Leistungssteuerung entsteht.*



Nulldurchgang stattfindet.
Deshalb ist es nicht erforderlich, daß die Steuereinheit für den Triac unmittelbar an der Netzspannung liegt. Wenn zwischen Netz und Steuereinheit ein Transformator geschaltet ist, so enthält auch die Sekundärspannung des Trafos die benötigte Phaseninformation, denn zwischen Primär- und Sekundärspannung tritt keine Phasenverschiebung auf. Die meistens heruntertransformierte Sekundärspannung des Trafos ist mit der Netzwechselspannung „in Phase", wie man das ausdrückt. Wenn die Netzspannung z.B. gerade einen Nulldurchgang macht und am Beginn einer positiven Halbwelle steht, dann trifft dies auch für die sekundäre Spannung des Netztrafos zu. Es kann lediglich - abhängig davon, wie die beiden Enden der Sekundärwicklung geschaltet sind - zu einer Phasenumkehr von 180° kommen (Umkehrung der positiven und der negativen Halbwelle), dies stört die Funktion der Steuereinheit nicht.
Dasselbe gilt für den Verbraucher, der mit dem Triac gesteuert werden soll; liegt er nicht unmittelbar an der Netzspannung, sondern über einen Trafo, so entsteht zwar eine Wechselspannung mit einer anderen Amplitude als 220 Volt, jedoch beträgt die Frequenz nach wie vor 50 Hertz und die Verbraucherspannung ist noch mit dem Netz in Phase.
Kurz: Es ist nicht erforderlich, daß die Steuereinheit und die Reihenschaltung Triac/Verbraucher an derselben Spannung betrieben werden. Wichtig ist vielmehr, daß sie beide indirekt aus dem Netz gespeist werden, und zwar aus demselben, also nicht aus Notstromaggregaten, Zerhackern o.ä., sonst geht der Phasenzusammenhang verloren. Im Prinzip ist es also möglich, die Triac-Verbraucherschaltung z.B. im Keller zu betreiben, während die Steuereinheit etwa im Wohnzimmer steht.
Diese ganze Betrachtung ist deshalb so wichtig, weil eine wirklich universelle Triacsteuerung eine unabhängige Stromversorgung haben muß, der Phasenzusammenhang zwischen Steuerung und Verbraucher aber nicht aufgehoben werden darf. Ein großer Teil der Elektronik in der Steuereinheit dient zum Aufspüren des Nulldurchgangs der Netzspannung.
Bild 4 soll das Prinzip der Phasenanschnittsteuerung noch etwas deutlicher machen.
In der oberen Zeile ist die Spannung über der Reihenschaltung Triac/Verbraucher dargestellt. Der erste Nulldurchgang dieser Spannung findet zu Anfang der Zeitachse statt. Die Ampli-

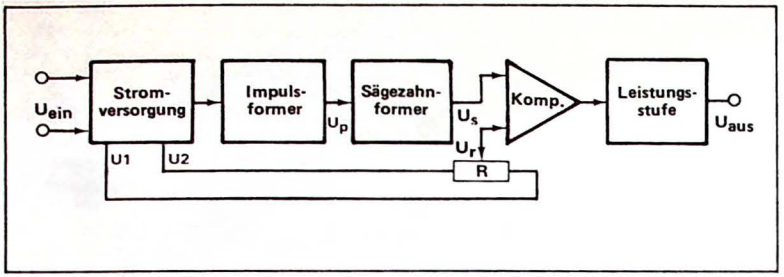


Bild 5. *Die erweiterte Blockschaltung. In Bild 6 ist grafisch angegeben, was sich an den Schaltungspunkten tut, so daß man von daher leicht die Wirkungsweise der Schaltung verstehen kann.*

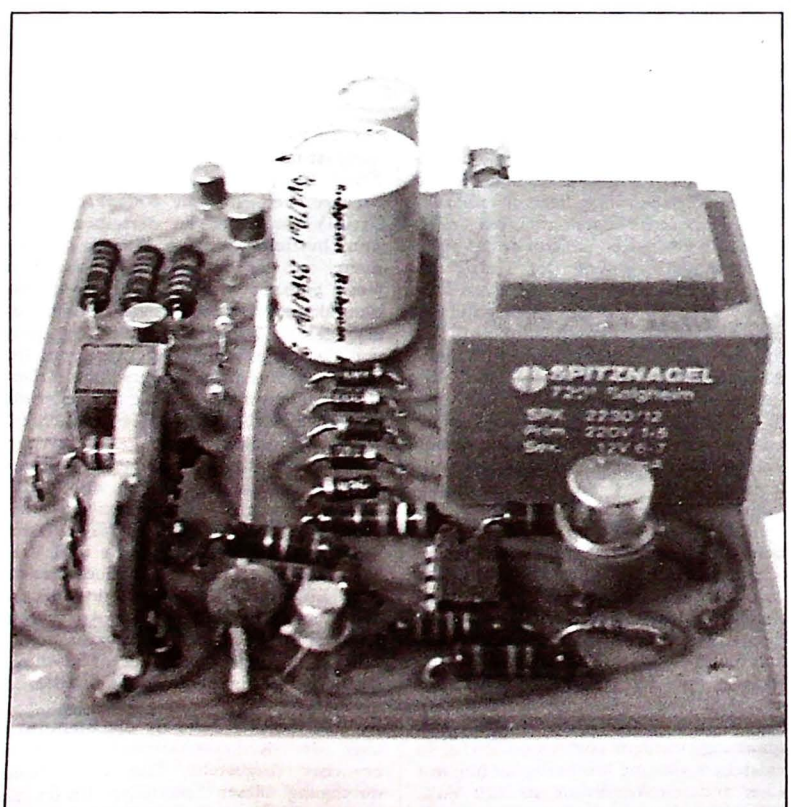
tude hat einen nicht näher bezeichneten Betrag, aber die Spannung ist auf jeden Fall in Phase mit der Netzspannung.

Die zweite Zeile zeigt die Ausgangsspannung der Steuereinheit. Die Elektronik erzeugt zu einem bestimmten, einstellbaren Zeitpunkt nach dem Nulldurchgang der Netzspannung einen Impuls, der den Triac zündet. Von diesem Moment an steht der Verbraucher unter Spannung (Zeile 3); ihre Höhe beeinflußt die Funktion der Steuereinheit nicht. Am Ende der positiven Halbwelle sperrt der Triac wieder. Der nächste Zündimpuls kommt während der negativen Halbwelle, er ist ebenfalls gegenüber dem letzten Nulldurchgang verzögert.

Die Zeilen 4 und 5 zeigen eine andere Einstellung der Steuereinheit: In Bezug auf den Nulldurchgang kommt der Zündimpuls später, die Verzögerungszeit ist größer. Somit wird der Verbraucher für eine kürzere Zeit unter Spannung gesetzt, seine Leistungsaufnahme ist geringer als in dem Fall, den Zeile 3 zeigt.

Ist der Verbraucher eine Lampe, so leuchtet sie schwächer, wenn sie nicht ständig an ihrer Speisespannung liegt, sondern während jeder Halbwelle der Wechselspannung erst zum Zeitpunkt t1 gesteuert wird. Erhält sie erst zum Zeitpunkt T2 „Saft", so leuchtet sie noch schwächer. Ein Motor reagiert auf unterschiedliche Einschaltzeiten mit unterschiedlichen Drehzahlen.

Der nächste Abschnitt zeigt, wie es im Prinzip möglich ist, einen Zündimpuls zu erzeugen, der eine bestimmte, einstellbare Zeitspanne nach dem Nulldurchgang der Netzspannung entsteht, wobei die Verzögerungszeit aber unabhängig von der Speisespannung des Triacs ist.



Blockschema

In Bild 5 sind die erforderlichen Funktionsgruppen der Steuereinheit angegeben, Bild 6 zeigt die an den wichtigsten Schaltungspunkten auftretenden Spannungen.

Die Stromversorgung erzeugt aus der Netzspannung eine Gleichspannung zur Speisung der elektronischen Funktionsgruppen. Aus dieser Einheit wird aber zusätzlich ein Signal gewonnen, aus dem die Elektronik eine Information über den Zeitpunkt des Nulldurchgangs der Wechselspannung ableiten kann.

Eine dritte Aufgabe der Stromversorgung: Sie erzeugt zwei Gleichspanungen, sie dienen zur Einstellung der Verzögerungszeit zwischen dem Nulldurchgang der Netzwechselspannung und dem Zündimpuls.

Der Impulsformer erzeugt jedesmal dann einen Impuls, wenn die Netzspannung durch Null geht. Diese Impulspannung wird als Up bezeichnet, sie steuert einen als Sägezahnformer bezeichneten Block. Ein Sägezahngenerator wäre eine Schaltung, die selbsttätig Sägezahnimpulse erzeugt, sobald Speisespannung anliegt. Damit eine bestimmte Phasenlage der Sägezahnimpulse in Bezug auf die Netzspannung entsteht, müßte der Sägezahngenerator synchronisiert werden. Wesentlich einfacher ist eine Eintransistorstufe, die von sich aus gar nichts tut, aber bei Steuerung mit Impulsen (hier: aus dem Impulsformer) jedesmal einen Sägezahn macht. Der Zahn startet, wie Bild 6 zeigt, kurz nach einem Nulldurchgang der Netzwechselspannung bei einem hohen Spannungswert; gegen Ende der Halbwelle ist die Spannung bei Null Volt angekommen.

Diese Spannung Us liegt an einem der beiden Eingänge eines Spannungskomparators.

Am zweiten Eingang dieses Komparators liegt eine einstellbare Gleichspannung. Ein Potentiometer liegt mit seinen äußeren Anschlüssen an zwei unterschiedlichen Gleichspannungen, die von der Stromversorgung erzeugt werden. Mit dem Poti kann die Spannung am zweiten Eingang des Komparators auf jeden Wert zwischen den beiden Gleichspannungen eingestellt werden.

Und so funktioniert die Sache: Solange die momentane Spannung des Sägezahnimpulses höher ist als die Referenzspannung Ur am zweiten Komparatoreingang, hat der Komparatorausgang hohes Potential. Sobald die fallende Sägezahnspannung den Betrag der Referenzspannung erreicht, schaltet der Komparator-

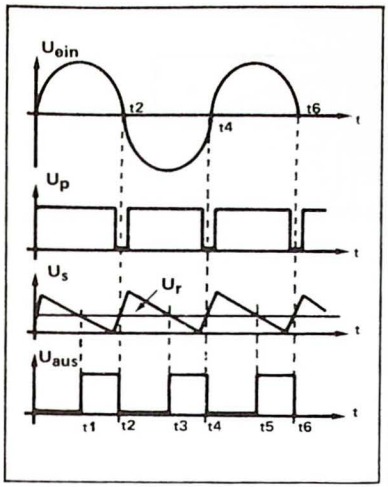
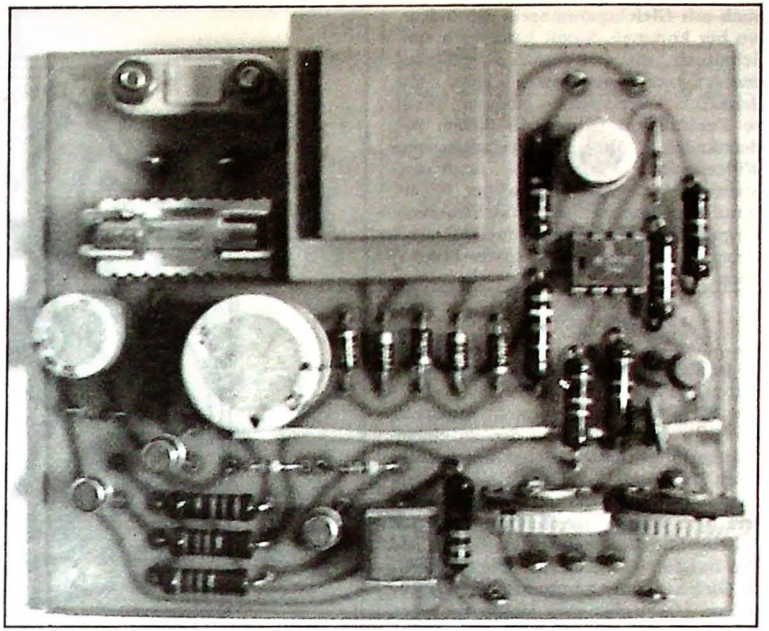


Bild 6. *Die Spannungsverläufe zu Bild 5. Untereinander: Die Netzspannung, die Spannung am Ausgang des Impulsformers, die Ausgangsspannung des Sägezahngenerators und die Impulskette am Ausgang der Steuereinheit.*



ausgang um, er geht auf Null Volt.
Es entsteht somit am Komparatorausgang bei jeder Halbwelle der Netzwechselspannung ein Impuls. Der Zeitpunkt, zu dem der Ausgang umschaltet, hängt von der Höhe der Referenzspannung Ur ab, die mit dem Poti R in Bild 5 einstellbar ist.
Auf den Komparator folgen noch zwei Transistorstufen zur Stromverstärkung, denn der Triac-Zündstrom kann nicht von dem zu schwachen Komparatorausgang geliefert werden.
In der unteren Zeile von Bild 6 ist das Ausgangssignal der Leistungsstufe eingezeichnet. Gegenüber dem Komparatorausgang hat eine Phasenumkehr stattgefunden, denn bei Gleichheit von Sägezahn- und Referenzspannung entsteht ein positiver Spannungssprung; bis dahin ist die Ausgangsspannung Null. Diese Phasenumkehr bewirkt der erste der beiden Transistoren in der Leistungsstufe.
Aus den vorstehenden Ausführungen dürfte klar geworden sein, daß der Zündzeitpunkt mit der Netzphase gekoppelt ist, daß er aber zusätzlich auch einstellbar ist. Bei einer kleinen, mit dem Poti R in Bild 5 eingestellten Referenzspannung erfolgt das Zünden des Triacs erst gegen Ende der „laufenden" Halbwelle der Netzwechselspannung, der Triac leitet nur für kurze Zeit und die Energie, die dem Verbraucher in dieser Zeit zugeführt wird, ist entsprechend klein. Mit zunehmender Referenzspannung verschiebt sich der Zündzeitpunkt zeitlich nach vorne in Richtung auf den Nulldurchgang, die einer Lampe, einem Motor usw. zugeführte Energie nimmt zu.
Der große Vorteil dieser Schaltung besteht darin, daß der Zündzeitpunkt extern mit einer Spannung eingestellt werden kann, damit erhält diese Triacsteuerung ihren universellen Charakter. Das Blockbild zeigt zwar eine intern erzeugte Spannung zur Einstellung des Zündzeitpunktes, aber die Sache funktioniert

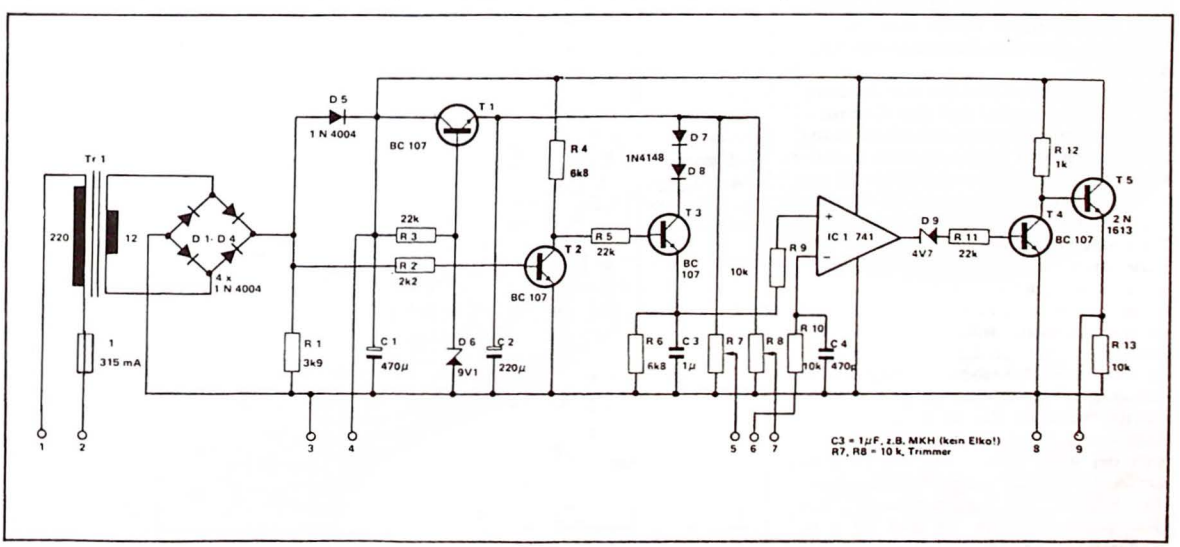


Bild 7. *Gesamtschaltung. Die mit 1...9 bezeichneten Anschlüsse sind auf dem Print als Lötstifte ausgeführt und leicht zugänglich.*

auch mit Gleichspannungen, die anderswo her kommen. Somit kann auch eine Schaltung, die eine variable Spannung erzeugt, hier angeschlossen werden. Zu denken ist aber auch an einfache, passive Zusätze mit lichtempfindlichen Widerständen (LDRs), temperaturgängigen Widerständen (PTCs, NTCs), denn eine Spannung zur Speisung solcher Widerstandsanordnungen liefert die Stromversorgung der universellen Steuereinheit. Beispiele hierfür werden später besprochen.

Gesamtschaltung

In Bild 7 finden sich alle Funktionseinheiten aus Bild 5.

Die Stromversorgung besteht zunächst aus dem Trafo Tr1 und den zu einem Brückengleichrichter zusammengeschalteten Dioden D1...D4. Auffällig ist, daß zwischen den Ausgängen des Gleichrichters (Ost- uns West-Anschluß) nicht der übliche Ladekondensator zu finden ist. Das hat folgenden Grund: Die ungesiebte Gleichspannung besteht aus zwei positiven Halbwellen pro Vollperiode der Netzwechselspannung. Zwischen diesen Halbwellen tritt kein Nulldurchgang auf, weil eine Gleichspannung natürlich nicht die Polarität wechselt; vielmehr tritt für einen theoretisch unendlich kurzen Zeitpunkt „Nullberührung" auf. Auf diesen Moment wartet der Impulsformer, er besteht aus Transistor T2. Während einer kurzen Zeitspanne zwischen „kurz vor" und „kurz nach" Nullberührung sperrt T2, ansonsten leitet er. Der Halbleiter liegt deshalb mit seiner Basis über den Strombegrenzungswiderstand R2 am Plus-Ausgang des Gleichrichters.

Wäre hier unmittelbar der übliche Lade-Elko angeschlossen, dann wäre an dieser Stelle nur eine mehr oder weniger gut geglättete Gleichspannung festzustellen, dem Impulsformer fehlte dann die Information über den Zeitpunkt des Nulldurchgangs.

Selbstverständlich ist für die Speisung der Halbleiterstufen und des Komparator-ICs eine geglättete Gleichspannung erforderlich. Der lange erwartete Ladeelko ist C1; er liegt über die Diode D5 am Ausgang des Gleichrichters. D5 bewirkt die für den Impulsformer notwendige Trennung zwischen Gleichrichter und Ladekondensator. Sie leitet nur, wenn die zweiweggleichgerichtete Wechselspannung momentan einen höheren Wert hat als die Spannung, auf die C1 bereits aufgeladen ist. Sie lädt C1 in diesen Augenblicken „nach", ansonsten sperrt sie, so daß insbesondere während der „Nullberührung" der Gleichrichterausgang vom Ladekondensator getrennt ist.

Von der geglätteten, aber nicht stabilisierten Gleichspannung über C1 werden die Stufen T2 (Impulsformer), IC1 (Komparator) sowie T4 und T5 (Leistungsstufe) gespeist. Eine stabilisierte Speisespannung benötigt die empfindli-

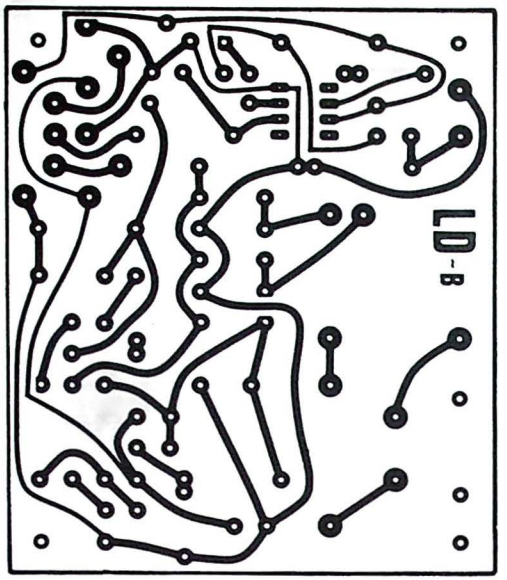
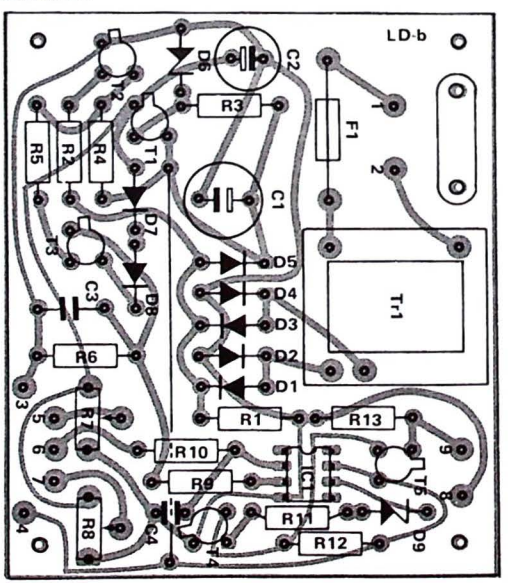


Bild 8. *Das Layout für den Print der universellen Triac-Steuerung. Der Triac selbst befindet sich nicht auf dem Print, schon deshalb nicht, weil er gekühlt werden muß und weil sich der zu verwendende Typ nach der Anwendung richtet. Zum Befestigen des Prints sind vier Löcher in den Ecken vorgesehen.*

Bild 9. *Der Bestückungsplan. Besonderheiten: Mit der langen Drahtbrücke sollte die Bestückung beginnen, einerseits, damit sie nicht vergessen wird, andererseits, weil sie unter anderen Bauelementen verläuft. Für den Netzanschluß ist eine Zugentlastung vorgesehen, der Print enthält hierfür zwei Bohrungen. Die eingezeichnete Lasche, die auch in den Fotos zu sehen ist, stammt aus einem alten Netzstecker. Bei den Dioden D1 bis D5 besonders gut auf die Polarität beim Einlöten achten, denn hier geht es quer durcheinander.*



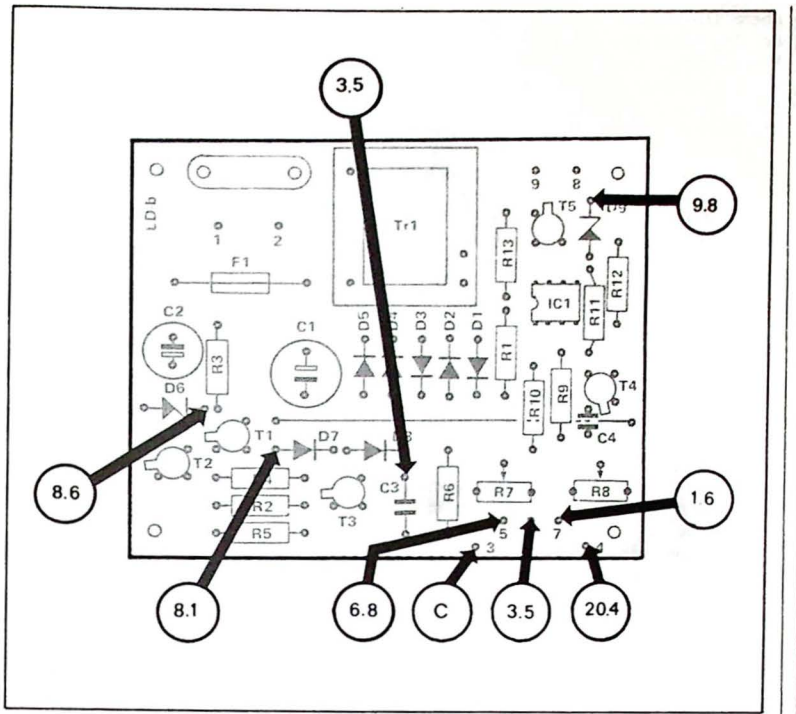


Bild 10. *Mit Hilfe des Spannungsplans lassen sich eventuelle Fehler, die beim Nachbau entstanden sind oder auf defekten Bauteilen beruhen, meistens schnell auffinden. Alle Spannungen wurden mit einem Vielfachinstrument (20 k-Ohm pro Volt) gegen Masse (C) gemessen.*

chere Stufe T3, der Sägezahnformer. Die Stabilisierungsschaltung liegt am Ladekondensator C1, sie besteht aus der Z-Diode D6, dem Widerstand R3 und dem Längsstabilisator-Transistor T1. Am Ausgang dieses Schaltungsteils liegt ein zusätzlicher Siebkondensator C2.

An dieser stabilisierten Speisespannung wird der Sägezahnformer T3 betrieben, dessen Basis über R5 am Kollektor des Impulsformers T2 liegt.

Zu Anfang jeder Halbwelle der Netzwechselspannung sperrt T2 für eine kurze Zeit. In dieser Zeit ist die Kollektorspannung von T2 hoch, T3 erhält Basisstrom. Der viel höhere Kollektorstrom von T3 lädt den Kondensator C3 schnell auf. Sobald T2 leitet, sperrt T3. Der Kondensator C3 entlädt sich jetzt vergleichsweise (gemessen an der Ladezeit) langsam über R6. Seine Spannung nimmt ab. Dieser langsame Verlauf der abnehmenden Spannung über C3 kennzeichnet den Sägezahn. Über R9 liegt der nichtinvertierende Eingang des OpAmps IC1 an der Sägezahnspannung. Der Operationsverstärker hat keine Gegenkopplung, so daß er mit seiner hohen Leerlaufverstärkung arbeitet. Es genügt eine sehr kleine Differenzspannung zwischen seinen Eingängen, um seinen Ausgang eindeutig auf Null oder auf eine bestimmte positive Spannung zu schalten; der OpAmp verhält sich somit wie ein Komparator, der ja auch nur „ja" oder „nein" sagen soll.

Der invertierende Eingang des Komparators ist über einen Widerstand R10 für eine externe Spannung zugänglich (Anschluß 6). Die Bedeutung der Anschlüsse 3, 4, 5 und 7 wird später erläutert.

Am Ausgang des Komparators liegt über eine Z-Diode D9, die zur Potentialanpassung dient, und einen Strombegrenzungswiderstand R11 die Leistungsstufe, die den Zündstrom für den Triac liefert. Zum vorgesehenen Zündzeitpunkt geht der Komparatorausgang nach Null, T4 sperrt, so daß sein Kollektor hohes Potential annimmt. Hier findet also eine „Phasenumkehr" statt. Bei hohem Kollektorpotential von T4 leitet T5, sein Emitter liefert über den Anschluß 9 den Zündimpuls auf das hier anzuschließende Gate des Triacs.

Bauhinweise

Print und Bestückungsplan sind in Bild 8 und Bild 9 angegeben.

Die Bestückung sollte mit der langen Drahtbrücke beginnen, sie sorgt dafür, daß die Speisespannung überall hin kommt.

Kondensator C3 mit seiner Kapazität von 1 Mikro-Farad darf kein Elko sein, hier kommt z.B. ein MKH-Typ in Frage. Transistor T5 braucht einen Kühlstern. Die beiden Trimmpotis werden stehend montiert.

Stückliste

Universelle Triac-Steuerung

KONDENSATOREN

C1	*= 470 µF, 16 V, RM vorzugsweise 7,5*
C2	*= 220 µF, 16 V, RM 5*
C3	*= 1 µF, z.B. MKH, RM 10*
C4	*= 470 pF, ker. Scheibe*

WIDERSTÄNDE 1/4 Watt, 5%

R1	*= 3,9 k-Ohm*
R2	*= 2,2 k-Ohm*
R3, R5, R11	*= 22 k-Ohm*
R4, R6	*= 6,8 k-Ohm*
R7, R8	*= 10 k-Ohm, Trimmer RM 10x5*
R9, R10, R13	*= 10 k-Ohm*
R12	*= 1 k-Ohm*

HALBLEITER

D1, D2, D3, D4, D5	*= 1 N 4007*
D6	*= Z-Diode 9,1 V, 400 mW*
D7, D8	*= 1 N 4148 (1N914)*
D9	*= Z-Diode 4,7 V, 400 mW*
T1, T2, T3	
T4	*= BC 107 o. äquiv., z.B. BC547*
T5	*= 2 N 1613*
IC1	*= 741, Mini-DIL*

SONSTIGES

F1	*= Feinsicherung 315 mA, mittel*
Tr1	*= Netztrafo 12 V/250 mA, Printausführung*
1	*x Sicherungshalter Printausf. RM 22,5*
1	*x Kühlstern TO-5 für T5*
1	*x IC-Fassung DIL 8 für IC1*
9	*x Lötstifte RTM*
9	*x Steckschuhe RF*
1	*x Print nach Bild 8/9*

Baukosten-Voranschlag

DM 24,-

ohne Triac

Ein Gehäuse wird für diese Schaltung aus verständlichen Gründen nicht vorgeschlagen, denn es hängt ja ganz vom vorgesehenen Verwendungszweck ab, wo und wie die Schaltung betrieben wird.

Anwendungen

Bevor man die Schaltung in irgendeiner selbsterfundenen Anwendung ausprobiert, sollte sie auf Funktion überprüft werden. Eine Hilfestellung für diese Prüfung gibt der Spannungsplan Bild 10. Alle Werte wurden gegen den gemeinsamen Punkt C (von common) gemessen, mit einem „gewöhnlichen" Vielfachmeßinstrument mit einem Innenwiderstand von 20 k-Ohm pro Volt.

Bild 11 zeigt das universelle Einsatzschema am Beispiel eines Diaprojektors mit 24 Volt-Lampe, die über einen entsprechenden Netztrafo betrieben wird. Die obere Darstellung zeigt die Schaltung des Projektors vor dem „Eingriff" in die Verdrahtung. Der Lampenstromkreis wird an beliebiger Stelle aufgetrennt, die beiden entstehenden freien Enden des Stromkreises werden mit den Laststromanschlüssen (MT1, MT2) des Triacs verbunden. Der Triac-Typ muß natürlich hinsichtlich der Anforderungen (Stromaufnahme), die der Verbraucher stellt, ausgesucht werden. Der Anschluß MT2 des Triacs wird aus dem Projektor herausgeführt, der Gate-Anschluß ebenfalls, jedoch über einen Widerstand, der in Bild 11 mit 100 Ohm angegeben ist.

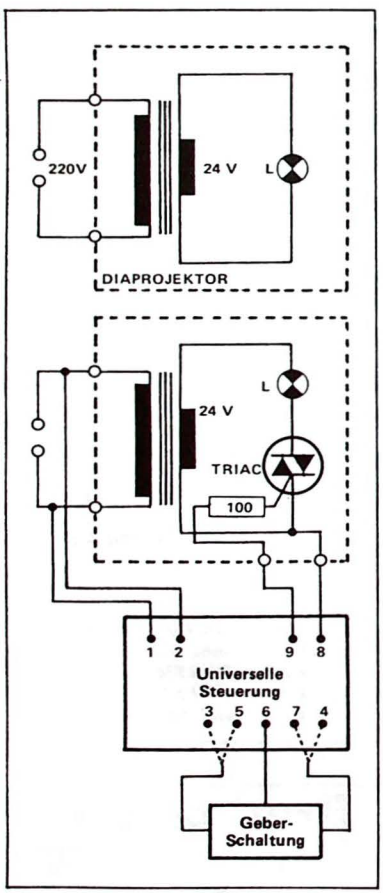


Bild 11. *Das universelle Anschlußschema für den Print. Der Triac und der mit „100" (Ohm) bezeichnete Gate-Widerstand werden in das Gehäuse des Verbrauchers montiert, dort ist der Stromkreis zu unterbrechen.*

Der Widerstandswert hängt von der Empfindlichkeit des Triacs ab. Moderne Typen sind häufig empfindlicher, sie benötigen zum Zünden weniger Zündspannung und Zündstrom, oft reicht deshalb ein 470 Ohm-Widerstand. Entscheidend ist, wie sich die Sache in der Praxis verhält. Wenn der Verbraucher im gesamten Steuerbereich keine Sprünge macht, eine Lampe oder ein Motor sich also kontinuierlich hoch- und herunterfahren lassen, ist der Widerstandswert nicht zu groß.

Der Widerstand sollte in der Nähe des Triacs montiert werden, im Projektorbeispiel also zusammen mit diesem in den Projektor.

Der Triac ist mit einem Kühlblech auszustatten, im allgemeinen reicht ein Blech mit den Abmessungen 10 x 10 cm. Die beiden herausgeführten Anschlüsse kommen an die Schaltungspunkte 8 und 9 der Steuereinheit.

Die mit den Ziffern 3 bis 7 gekennzeichneten Anschlüsse der Steuereinheit dienen zum Programmieren. An 4 steht die volle, unstabilisierte Gleichspannung zur Verfügung, Anschluß 3 ist Masse. Die Anschlüsse 5 und 7 führen zu den Abgriffen der Trimmpotis auf dem Print. Schaltet man zwischen diese Punkte ein Poti, dessen Abgriff mit dem Steuereingang 6 verbunden wird, so lassen sich mit den Trimmern eine obere und eine untere Grenze für den Einstellbereich des externen Potis festlegen. Diese Art der Programmierung ist in Bild 12 angegeben. Wenn der Verbraucher in diesem Beispiel ein Projektor ist, so kann mit R1 (Bild 12) die Lampenhelligkeit zwischen AUS und voller Intensität eingestellt werden. Mit der Voreinstellung der Trimmpotis kann man z.B. erreichen, daß bei ganz nach links gedrehtem Poti R1 die Projektorlampe zwar noch kein Licht abgibt, aber bereits so stark vorgewärmt wird, daß sie beim Drehen an R1 sofort kommt. Der andere Trimmer wird so eingestellt, daß bei voll aufgedrehtem R1 gerade die maximale Helligkeit erreicht wird.

In Bild 13 ist eine Programmierung angegeben, die eine lichtabhängige Steuerung bewirkt. Das Poti aus Bild 12 ist durch eine Reihenschaltung aus Festwiderstand, Trimmer und LDR ersetzt. Mit dieser Schaltung kann man z.B. eine

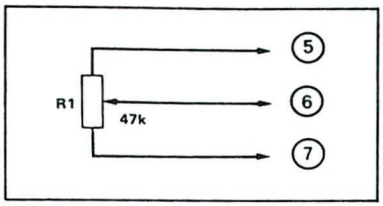


Bild 12. *Die einfachste Art der Steuerung: mit der Hand ein Poti betätigen.*

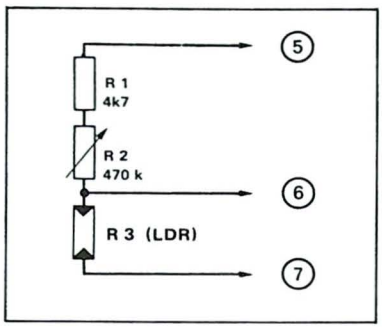


Bild 13. *Eine kleine Automatik. Die universelle Steuerung reagiert jetzt auf das vom LDR registrierte Licht.*

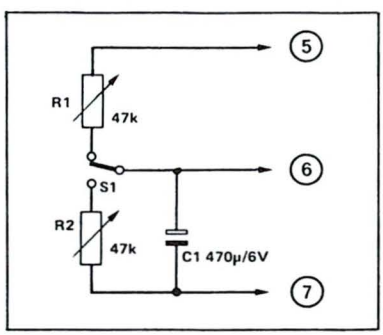
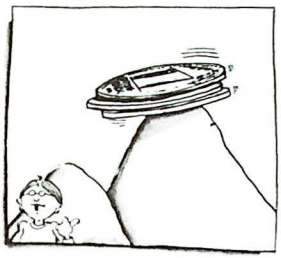


Bild 14. *Bei dieser Steuerung wird der Verbraucher langsam ein- oder ausgeschaltet, wenn men den Umschalter S1 betätigt.*

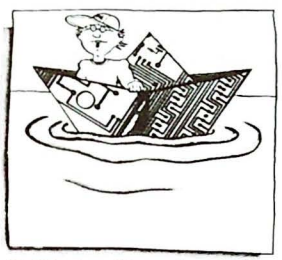
Aquariumbeleuchtung in der Weise steuern, daß sie ihre Intensität der Umgebungshelligkeit anpaßt. Statt der Anschlüsse 5 und 7 können hier auch die Anschlüsse 3 und 4 verwendet werden. Bild 14 schließlich zeigt eine Beschaltung der Programmiereingänge, bei der die Steuerspannung nach dem Betätigen eines Umschalters langsam zu- bzw. abnimmt. Eine angeschlossene Lampe leuchtet langsam auf bzw. wird halbautomatisch gedimmt. Die Zeiten hängen von der Kapazität des Kondensators und von der Einstellung der Potis ab.

Natürlich funktioniert die Sache nur, wenn die Anschlüsse 1 und 2 der universellen Steuereinheit mit dem Netz verbunden sind. Wie und wo? Mit einem Netzkabel mit Stecker in die erstbeste Steckdose!

Ergebnisse des Fragebogens:



58,4% finden die durchschnittlichen Baukosten der Bauvorschläge richtig, 15,8% zu hoch.

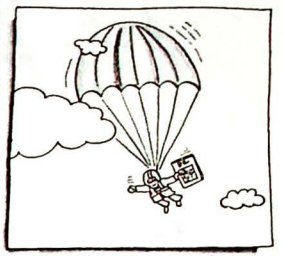


49,2% der Einsender finden, daß der Inhalt von P.E. „gerade richtig" ist.

52,2% sind der Auffassung, daß die Sprache in P.E. „gerade richtig" sei.

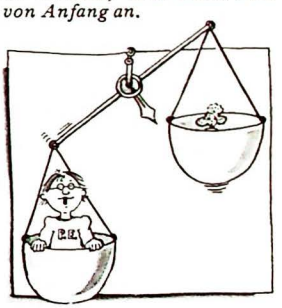
Die Gewinner

O. Müller, 6720 Speyei
U. Meyer, 4995 Stemwede 2
G. Miaskowiak, 4550 Bramsche 3
G.H. Schwiers, 358 Fritzlar
G. Gahner, 7710 Donaueschingen
M. Sternberg, 7446 Oberboihingen
J. Jansen, 5167 Vettweiß
M. Hänze, 53 Bonn 2
J. Bruns, 7500 Karlsruhe 21
N. Kaiser, 5982 Neuenrade
W. Niehage, 4320 Lemgo
R. König, 4720 Beckum 2
R. Bösel, 2409 Gleschendorf
A. Strangfeld, 7220 Schwenningen
R. Wenzelburger, 61 Darmstadt-Ar.
H. Freudenberg, 5060 Berg.-Gladb.
K. Dinter, 8880 Dillingen
H. Bayka, 7140 Ludwigsburg 11
W.Bewer, 6 Frankfurt/M. 90
M. Krabiell, 8 München 5
K. Thomas, 5900 Siegen1
S. Pammer, 4010 Hilden
S. Scherer, 8756 Kahl
H. Pilot, 4408 Dülmen
B. Poschen, 5205 St. Augustin 2
K.H. Steinwachs, 2111 Welle
H. Rupp, 5830 Schwelm
J. Kahl, 4320 Lemgo 1
J. Bauer, 6550 Bad Kreuznach
H. Löffler, 7000 Stuttgart 30
H. Schumacher, 2000 Hamburg 60
E. Klöhn, 2000 Hamburg 19
E. Edelmann, 71 Heilbronn
W. Schneider, 6251 Runkel 6
L. Fleckenstein, 8034 Germering
A. Michalides, 5820 Gevelsberg .
K.H. Frenzel, 8850 Donauwörth
U. Diel, 6238 Hofheim/Marxheim
P. Stroß, 5210 Troisdorf 22
H. Straub, 2870 Delmenhorst
J. Grobbin, 2870 Delmenhorst
J. Lübbers, 4534 Recke
J. Grote, 8940 Memmingen
K. Rheinwald, 2359 Henst.-Ulzb.
R. Blömeke, 5800 Hagen 1
W. Lossie, 3400 Göttingen
E. Becker, 4050 Mönchengladb. 1
L. Heese, 4730 Ahlen
J. Heinrich, 4630 Bochum 1
D. Knobelspies, 7769 Nenzingen
H. Rischert, 7257 Ditzingen
A. Polzin, 5305 Impelkoren
K. Langenkämper, 4408 Dülmen
H.D. v. Schmieden, 7888 Rheinfeld.
K. Krebbers, 5226 Reichshof
R. Jurkat, 4650 Gelsenkirchen
D. Klein, 5000 Köln 50
B. Kreßner, 3000 Hannover 91
H. Gratzki, 4660 Gelsenk./Buer
H.J. Stemper, 3340 Wolfenbüttel
J. Heine, 3000 Hannover 21
M. Weis, 7972 Isny/Allgäu
H. Bronstering, 4401 Laer
H. Pohl, 3300 Braunschweig
A. Braun, 3301 Edermünde/Besse
J. Gauder, 2851 Nordholz
W. Schmitt, 8412 Burglengenfeld
E. Zeilmeir, 7910 Neu-Ulm
J. Walker, 5172 Tetz
H. Janke, 1 Berlin 10
H. Brusberg, 7778 Markdorf
G. Wilkens, 1 Berlin 49
M. Knispel, 6272 Königshofen/Taun.
L. Wintz, 5170 Jülich
H. Rolla, 6301 Lindenstruth
W. Binder, 8070 Ingolstadt
H.J. Furmann, 4787 Geseke 3
M. Gronau, 5882 Meinerzhagen 1
B. Kreus, 5100 Aachen-Brand
P. Neumann, 6090 Rüsselsheim
T. Föhlinger, 1 Berlin 21
H.U. Schmidt 3354 Dassel
U. Bahle, 8801 Dürrwangen
P. Gottfried, 8901 Neusäß
W. Mierzwa, 7300 Esslingen
R.+G. Schöps, 7500 Karlsruhe
K.D. Pollmann, 4230 Wesel 1
G. Kolb, 8980 Oberstdorf
H.G. Weber, 6460 Gelnhausen/H.
M. Pittelkow, 2430 Neustadt/H.
W. Erdmann, 5 Köln 41 (Klettenb.)
W. Werner, 7000 Stuttgart 40
R. Derpmanns, 4060 Viersen
J. Baudis, 8560 Lauf
A. Henckenbehrens, 2842 Lohne
M. Fries, 7990 Friedrichshafen 1
D. Fiedler, 8403 Bad Abbach
M. Wiessler, 65 Mainz



Den Inhalt der Zeitschrift halten 64,2% für interessant und aktuell.

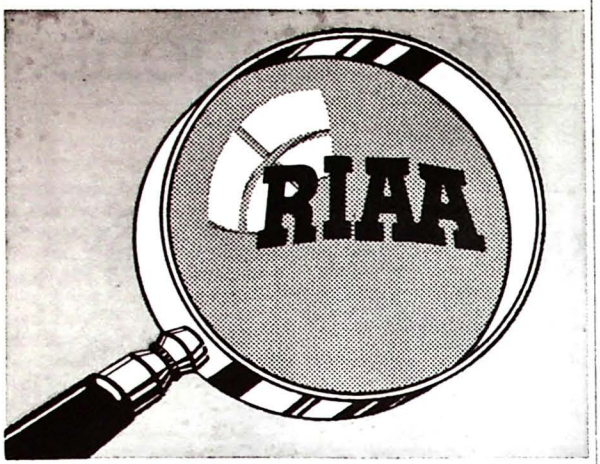
84% lesen P.E. länger als 12 Monate, 63% lesen P.E. von Anfang an.



Ein „männliches" Hobby? 97% der Leser sind männlich, 3% weiblich.

Wie bei fast allen Befragungen hat auch die P.E.-Fragebogen-Aktion längst Vermutetes, Ermunterndes aber auch Kritisches aus Ihrem Kreise gebracht.
In den Illustrationen haben wir versucht darzustellen, was uns als das wichtigste Ergebnis erschien. Ganz stolz sind wir darüber, daß uns über 80 % der Leser schon länger als 1 Jahr die Treue halten. Wir versuchen natürlich, das durch unsere redaktionellen Leistungen zu rechtfertigen. Ansporn dazu waren die Kommentare zum Inhalt, der Formatumstellung und zu den Fragen, ob mehr Bilder und Illustrationen gebracht werden sollen.
Die Tatsache, daß einerseits mehr als 30 % Verbesserungsvorschläge gemacht haben und andererseits fast 50 % der Einsender mehr Grundlagenbeiträge verlangen zeigt, daß wir noch viel zu tun haben. Natürlich sind wir sehr dankbar, daß Sie uns konkret gesagt haben, wohin wir P.E. weiterentwickeln sollen.
Eine ganze Fülle von zusätzlichen Bemerkungen auf den ausgefüllten Fragebögen wird uns auch noch in den nächsten Wochen und Monaten beschäftigen. In der Kürze der Zeit war es uns leider nicht möglich, schon hier darauf einzugehen. In den nächsten Ausgaben werden wir uns auch darüber äußern.
Zum Schluß nochmals an alle Einsender unseren Dank.
Die ersten 100 Fragebogen-Absender erhalten wie versprochen die Prämie für Schnelligkeit. Wer gewonnen hat, kann auf dieser Seite (siehe Kasten) nachgelesen werden.

Was bedeutet....?



Man hält es seit Jahren für selbstverständlich, daß eine gute Wiedergabeanlage den Schall, der auf einer Schallplatte „gespeichert" ist, von den höchsten Tönen bis zu den tiefsten Bässen perfekt wiedergibt. Die meisten Zeitgenossen, obwohl eifrige Konsumenten dieser Art von Konserven, haben keine Vorstellung von den Tricks, die zur Konservierung und Wiederaufbereitung der Schallinformationen erforderlich sind. Dem „Normalverbraucher" gelten wir Hobbyelektroniker als Fachleute, aber wissen wir, warum Schallplatten so geschnitten werden, daß bei der Wiedergabe eine Entzerrung erforderlich ist?

Es ist noch gar nicht so lange her, da hatte fast jeder Plattenhersteller sein eigenes Aufnahmeverfahren. Inzwischen ist es genormt, die Aufnahme geschieht nach dem RIAA-Verfahren, das seinen Namen von der „Recording Industries Association of America" bekommen hat.
Da demnächst im Zusammenhang eines größeren Beitrags in P.E. ein „Schneidkennlinien-Entzerrer-Vorverstärker" (kurz: RIAA-Vorverstärker) beschrieben wird, soll hier bereits in populärer Darstellung auf die Hintergründe eingegangen werden.

Frequenzbereich des Gehörs

Der tiefste Ton, den man noch gerade hören kann, hat eine Frequenz von 16 Hertz. In der Musik sind es die längsten Pfeifen der Kirchenorgeln, die solche Töne erzeugen. Die obere Grenze des Hörbereichs läßt sich nicht so genau lokalisieren, weil sie stark altersabhängig ist. Kleinkinder reagieren auf Töne bis 20.000 Hertz, und wenn einer 40 ist, kann er froh sein, wenn er Schallschwingungen der Frequenz 14.000 Hertz noch wahrnimmt. Man geht meist von einer oberen Bereichsgrenze von 16.000 Hertz aus.
Somit stehen die „Grenzfrequenzen" im Verhältnis 1000:1, das ist eine ganze Menge und kann, wie die Schneidetechnik von Schallplatten zeigt, bei der Verarbeitung, Konservierung usw. von Schallinformationen zu Problemen führen.

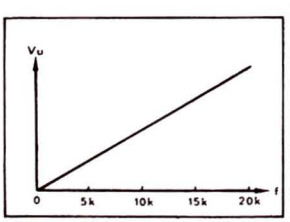


Bild 1. *Bei frequenzunabhängiger Auslenkung ist die Abtasterspannung frequenzgängig.*

Die Platte

Man erkennt am Reflexionsverhalten der Schallplattenoberfläche, daß die Rillen sehr dicht nebeneinander geschrieben sind. Da die Schallinformation in Auslenkungen enthalten ist, die nach links und rechts vom geraden Weg der Spur herausführen, kann man sich leicht vorstellen, daß der Grad der Auslenkung, die mechanische Amplitude, welcher der Abtaster folgen muß, sehr klein ist; sie beträgt allgemein bei maximaler Aussteuerung 0,035 mm (35 µm).
Der Grund für die extreme Schreibdichte ist klar: Man will bei gegebenem Plattendurchmesser möglichst viel Information unterbringen können.
Je kleiner die Amplitude der Auslenkung ist, um so mehr können sich Unebenheiten der Plattenoberfläche bemerkbar machen. Ein unbespielter Abschnitt der Platte macht auf den ersten Blick einen glatten Eindruck,' das Mikroskop zeigt jedoch die Unebenheiten.

Der Abtaster

Das Abtastelement kann nicht unterscheiden, ob eine Bewegung, zu der sein bewegliches Element veranlaßt wird, beabsichtigt ist, weil sie eine Schallinformation darstellt, oder ob die Bewegung von einer mikroskopischen Unebenheit der Platte herrührt. Der Abtaster setzt alles, was ihm vor den Diamant kommt, in eine Signalspannung um. Staubkörnchen in der Rille machen im Lautsprecher ein Knacken, wenn man leise Stellen mit großer Lautstärke fährt, dann rauschen (u.a.) die Unebenheiten.
Nun weiß man ja aus der Praxis, daß trotz der geringen Auslenkungen der „Rauschabstand" auch bei den leisen Passagen der Musik ausreichend ist. Wo also liegt das Problem?

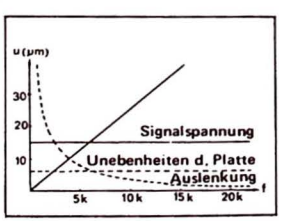


Bild 2. *Bei frequenzunabhängiger Abtasterspannung ist die Auslenkung teilweise zu gering.*

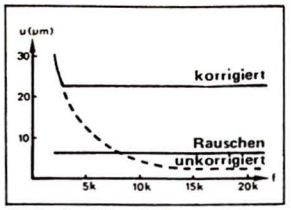


Bild 3. *Die Höhenanhebung sorgt für genügend Rauschabstand bei hohen Frequenzen.*

Das Abtastelement setzt Bewegungen in elektrische Spannungen um, die anschließend verstärkt werden. Wenn die Amplitude der Spannung denselben Betrag hätte wie die Amplitude, die in die Platte geschnitten ist, wäre die Sache in Ordnung. Töne mit unterschiedlicher Tonhöhe, aber gleicher Amplitude (auf der Platte) würden auch mit derselben Amplitude wiedergegeben. Die Unebenheiten der Platte könnten nicht störend in Erscheinung treten. Die Praxis ist leider ganz anders.
Die Spannung, die ein Element abgibt, ist nämlich proportional zur Geschwindigkeit, welche der Diamant und damit das bewegliche Element (der Magnet im magneto-dynamischen Abtaster) in seitlicher Richtung ausführt. Bei zunehmender Frequenz bzw. Tonhöhe, aber konstanter Amplitude eines aufgezeichneten Signals nimmt die Geschwindigkeit des Abtasters zu, in gleichem Maße auch die Amplitude der erzeugten Spannung. Bild 1 zeigt diesen linearen Zusammenhang zwischen Frequenz und abgegebener Spannung, wohlgemerkt bei konstanter Auslenkungsamplitude. Ein Zahlenbeispiel: Ein 1 kHz-Ton, der mit einer Amplitude von 30 µm geschnitten wurde, erscheint am Ausgang des Abtastelementes mit derselben Amplitude wie ein 2 kHz-Ton, der mit nur 15 µm Auslenkungsamplitude geschnitten wurde. Verlangt man am Ausgang des Elementes einen linearen Frequenzgang - so daß der gesamte Frequenzbereich ohne Korrekturen verstärkt und auf den Lautsprecher gegeben werden kann,

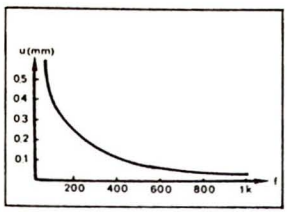


Bild 4. *Bei sehr niedrigen Frequenzen steigt ohne Korrektur die Auslenkung zu stark an.*

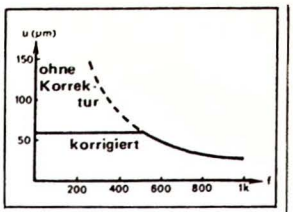


Bild 5. *Die Tiefen-Korrektur begrenzt unter 500 Hertz auf eine konstante Auslenkung.*

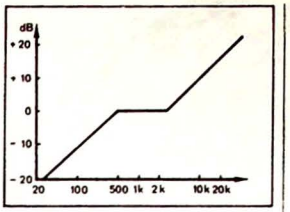


Bild 6. *Der „falsche" Frequenzgang einer Platte, die ohne Korrektur abgespielt wird.*

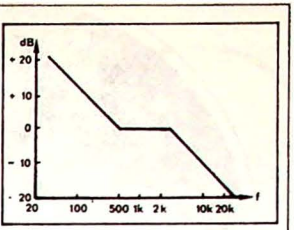


Bild 7. *Der Frequenzgang der Kompensationsschaltung zur Schneidkennlinien-Entzerrung.*

dann bedeutet diese Forderung z.B., daß ein 16 kHz-Ton nur mit 1/16 Amplitude eines 1 kHz-Tones geschnitten werden darf, wenn er mit derselben Lautstärke wiedergegeben werden soll. Eine solche geringe Auslenkung ist aber nicht tragbar, weil sie in den Plattenunebenheiten untergeht. Denn selbstverständlich werden solche Unebenheiten, die höherfrequente Störsignale erzeugen, aufgrund des geschwindigkeitsabhängigen Verhaltens des Abtasters viel stärker wirksam.

Diese Zusammenhänge sollen die Bilder 1 und 2 deutlich machen. Bild 1 zeigt, daß die Signalspannung am Ausgang des Elementes linear mit der Frequenz ansteigt, wenn alle Frequenzen mit derselben Amplitude geschnitten werden. In Bild 2 ist unter anderem angegeben, mit welcher Auslenkung die Frequenzen zu schneiden sind (hyperbolische Kurve), damit die Signalspannung frequenzunabhängig ist (waagerechte durchgezogene Linie). Das Niveau der Plattenunebenheiten (waagerechte gestrichelte Linie) wird bereits bei Frequenzen ab ca. 6 kHz unterschritten, somit treten oberhalb dieser Frequenz Störsignale (schräge durchgezogene Linie) stärker auf als das Nutzsignal. Das Resultat wäre eine stark verrauschte Wiedergabe. Man hat sich deshalb bestimmte, frequenzabhängige Verfahren der Aufzeichnung und der Entzerrung einfallen lassen, heute gibt es davon nur noch eines.

Maßnahmen bei hohen Frequenzen

Es muß dafür gesorgt werden, daß auch bei hohen Frequenzen die Schneideamplitude so groß ist, daß die Signalamplitude größer ist als die von den Oberflächenstörungen der Platte verursachten Störsignale. Nach RIAA werden Platten so geschnitten, daß, beginnend bei 2120 Hertz, bei jeder Verdoppelung der Frequenz eine doppelt so große Auslenkung entsteht, wie ohne Korrektur (Bild 3). Somit entspricht die geschriebene Amplitude der Amplitude des ursprünglichen Schallsignals, es entsteht eine frequenzunabhängige Auslenkung, wie Bild 3 zeigt. Der „Abstand" zu den Unregelmäßigkeiten in der Plattenoberfläche ist konstant.

Maßnahmen bei niedrigen Frequenzen

Sollen tiefe Frequenzen des Schallsignals ohne irgendwelche Korrekturmaßnahmen mit derselben Signalamplitude aus dem Abtastelement herauskommen wie mittlere, dann muß die Geschwindigkeit der Abtastbewegung denselben Betrag haben. Bild 4 zeigt die hyperbolische Kurve aus Bild 2 für den Bereich niedriger Frequenzen, bei Halbierung der Frequenz muß die Auslenkamplitude verdoppelt werden. Wird ein 1 kHz-Ton mit einer Amplitude von z.B. 30 µm geschrieben, so muß ein in der Frequenz um den Faktor 50 niedrigerer 20 Hertz-Ton mit der 50-fachen Amplitude, also mit 1,5 mm geschrieben werden. Das geht nicht, weil die Platte diesen Platz nicht bietet.

Deshalb werden beim Schneiden die Frequenzen unterhalb 500 Hertz abgeschwächt, die Auslenkung ist in diesem Bereich frequenzunabhängig (Bild 5).

Zurück zum ursprünglichen Signal: RIAA-Entzerrung

Würde man eine Schallplatte, die nach dem beschriebenen Verfahren geschnitten wurde, ohne Korrekturmaßnahmen für den Frequenzgang abspielen, so wären die Höhen viel zu stark vertreten, die Tiefen viel zu schwach. Bild 6 zeigt den „falschen" Frequenzgang. Es ist hinter dem Abtastelement ein elektronisches Korrekturglied erforderlich, das die bei der Aufnahme getroffenen Maßnahmen wieder aufhebt. Es muß also das Umgekehrte dessen tun, was der Hersteller bei der Aufnahme getan hat.

Oberhalb der Frequenz 2120 Hertz muß der Frequenzgang eine bestimmte fallende Tendenz aufweisen, ab 500 Hertz muß die Verstärkung zu tieferen Frequenzen hin zunehmen (Bild 7). Der sogenannte RIAA-Vorverstärker enthält die entsprechenden Korrekturmaßnahmen.

Da man sowieso beim Korrigieren ist, kann man gleich noch eine Sache tun; der Antriebsmotor des Plattenspielers soll eigentlich nur dafür sorgen, daß der Abtaster mit konstanter Geschwindigkeit durch die Rille fährt. Zu diesem Zweck gibt man dem Plattenteller eine große Masse, sie gleicht Unregelmäßigkeiten der Motordrehzahl und des Antriebsmechanismus' merklich aus, die restlichen niederfrequenten Drehzahlschwankungen werden aber noch übertragen und sind in guten Anlagen hörbar.

Der RIAA-Entzerrerverstärker hat für diese sehr niedrigen Frequenzen den höchsten Verstärkungsfaktor (Bild 7). Das „Rumpeln" des Plattenspielers würde somit „überdimensional" stören, wenn keine Gegenmaßnahme getroffen würde. Die Maßnahme sieht so aus: Man hebt die Frequenzen unterhalb 500 Hertz zwar in vorgesehener Weise an, aber nur bis 50 Hertz; darunter bleibt der Verstärkungsfaktor des RIAA-Entzerrers konstant.

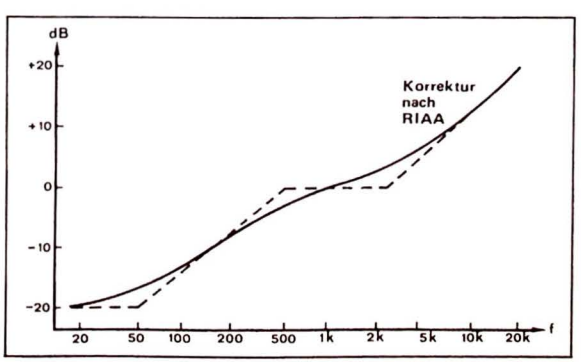


Bild 8. *Die endgültige RIAA-Entzerrer-Kennlinie für den Vorverstärker, der zwischen Abtaster und Phono-Eingang der Übertragungsanlage geschaltet ist (in Stereo: zwei getrennte Kanäle).*

Gesamtentzerrung

Bild 8 zeigt den endgültigen Frequenzgang des Entzerrer-Vorverstärkers (durchgezogene Linie).

Die eckigen Übergänge sind reine Theorie, denn in der Praxis sind nur weiche Übergänge bei den für die RIAA-Kurve gewählten Frequenzen zu erreichen.

Ihr Schaltungswunsch in P.E.!

P.E. praktiziert Mitbestimmung für aktive Freizeitelektroniker! Wie funktioniert das?

In jeder Ausgabe von Populäre Elektronik finden Sie eine vorgedruckte Karte zum Abtrennen. Auf der Rückseite tragen Sie fünf Schaltungswünsche ein. Freimachen und abschicken – das ist alles. Wenn Sie Nochnichtabonnent sind und ein Abo bestellen, stekken Sie die Hitparadekarte zu der Abo-Bestellung in einen Umschlag, der mit DM 0,60 frankiert wird. Dann sind Sie für ganze 10 Pfennige auch in der Hitparade dabei.

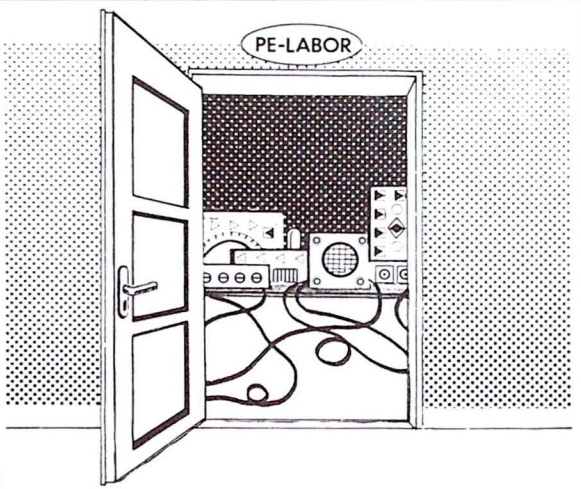
Das n-Kanal-Mischpult, seit einiger Zeit Spitzenreiter der Hitparade, kommt in der nächsten Ausgabe. An fast allen aufgeführten Schaltungen wird z.Zt. gearbeitet, voraussichtlich kann im Durchschnitt je Ausgabe ein Titel aus der oberen Hälfte der Liste veröffentlicht werden.

Die eingesandten Schaltungsvorschläge werden in der Reihenfolge ihrer Nennung mit 5,4,3, Punkten usw. bewertet.

1.	n-Kanal-Mischpult	2442
2.	Kurzwellenempfänger	2198
3.	Modellbahnelektronik	1869
4.	US-Einbruchalarm	1823
5.	Ladegerät für NiCd-Akkus	1672
6.	Thermometer	1655
7.	Klangeinsteller in Modultechnik	1527
8.	Netzteil (allg.)	1426
9.	Vorverstärker -- Modul	1077
10.	Stroboskop	872
11.	RLC-Meter	856
12.	UKW-Empfänger	768
13.	Umformer für Leuchtstofflampe	726
14.	Antennenverstärker	588
15.	Lauflicht	560
16.	Lichtschranke	452
17.	Fernsteuerung	440
18.	Gitarreneffekte	208
19.	TV-Spiele	154
20.	Equalizer	153

Der Abo-Tip

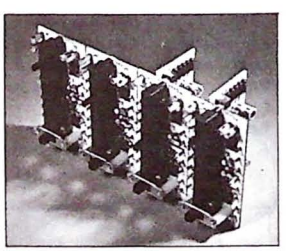
Aus der Praxis für die Praxis: Irgendwer hat irgendwann eine Idee, wie man als Hobby-Elektroniker mit einem kleinen Trick Arbeit oder Material sparen kann, etwas besser oder schneller machen kann usw. Meistens handelt es sich um Kleinigkeiten, die angeblich „nicht der Rede wert" sind.
P.E. meint: Eine Tipkiste ist eine Trickkiste. P.E. macht die Kiste auf. Und holt in der Tip-Rubrik einen nach dem anderen heraus. In dieser Ausgabe findet sich aus Platzmangel leider keiner, aber wir versprechen: Der nächste Tip kommt bestimmt!
Hier gleich noch einer: P.E.-Abonnent werden. Dann füllt sich Ihre Trickkiste von selbst.
Und damit sich die Sache auch für Sie lohnt, können Sie P.E. für nur DM 29,80 im Jahr (= 12 Ausgaben) abonnieren. Mit einem Preisvorteil von über 25 %. Vom Postboten ins Haus gebracht, immer etwas früher als am Kiosk. Und so wird man Abonnent: P.E. Abo-Karte ausfüllen und an den Verlag schicken. Den Betrag von DM 29,80 als Scheck beifügen oder auf Postscheck-Konto Hamburg 332 287 - 208 für M+P Zeitschriften Verlag GmbH + Co. Hamburg einzahlen. Fertig!



In der nächsten Ausgabe von P.E. kommt (endlich) das

n-Kanal-Mischpult

Beliebige Kanalzahl durch modularen Aufbau
Außerhalb und innerhalb der P.E.-Modulserie „HiFi-Module" zu verwenden



Hinweis für unsere Abonnenten

In den letzten Tagen haben wir zahlreiche Anfragen bezüglich der neuen Abonnement-Verlängerungsrechnungen bekommen. Es wurde mit Recht darauf hingewiesen, daß die erste P.E.-Ausgabe dieses Jahres von der Berechnung ausgenommen sein soll.
Das stimmt! Wer also die Verlängerungsrechnung bekommen hat und schon 1978 Abonnent war, der bezahlt mit dem Betrag von DM 29,80 die Ausgaben 2/79 bis einschließlich 1/80. Das haben wir so in unseren Rechnungsunterlagen vermerkt.

electronic-hobby-shop

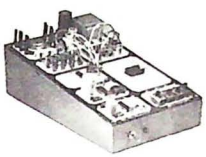
Inhaber U. VOIT

Bestückungssortimente - Bausätze - Bauelemente

Kaiserstraße 20 5300 Bonn 1 Telefon: 02221/639990 «223890»

Die Knüller aus PE.

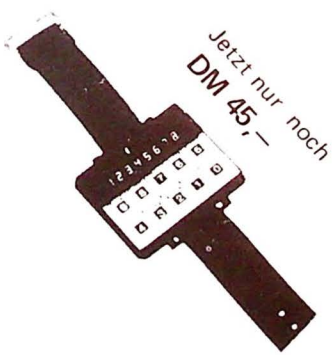
TTL-Trainer



Bauteilesortiment einschl. Trafo, IC-Fassungen, Lötnägel und Steckstiften sowie farbigen Kabelstücken ..... **DM 52,00**
orig. PE-Platine ..... **DM 29,00**
Gehäuse TEKO P/4 ..... **DM 10,75**
Komplettbausatz
wie oben ..... **nur DM 89,00**

Super-Spannungs-Quelle
Bauteilesortiment einschl. Trafo, ICs, Zeigerknöpfen usw. ..... **DM 79,80**
Al-Profilgehäuse, gebohrt und bedruckt, mit Kühlkörper als Rückwand .. **DM 39,80**
Meßgerät 0-30 Volt ..... **DM 17,90**
Meßgerät 0-3 Ampere ..... **DM 16,90**
orig. PE-Platine ..... **DM 13,10**
Komplettbausatz mit sämtlichen Teilen wie oben aufgeführt ... **nur DM 148,00**

ARMBANDRECHNER



Armbandrechner 8stellige Anzeige mit vielen Funktionen: + − . : √% 1/x x^2 und Speicher; einfacher elektronischer Aufbau.

LICHT-

ORGEL

N-Kanal-Lichtorgel
Alles für die SUPER-LIGHT-SHOW! Jeder Bausatz enthält sämtliche Teile zum Aufbau einschl. schwarzer Zeigerknopfe für die Potis

Bauteile **Basisschaltung** einschl. Netzkabel, 3adrig und DIN-Lautsprecherbuchse **DM 20,80**
orig. PE-Platine ..... **DM 8,30**
Komplettbausatz ..... **DM 25,80**

Kanalprint – Bauteile – bei Bestellung bitte Frequenz angeben, 20 Hz ist nicht lieferbar ..... **DM 12,70**
orig. PE-Platine ..... **DM 5,00**
Komplettbausatz ..... **DM 16,70**
Pausenkanal, Baut. ..... **DM 11,50**
orig. PE-Platine ..... **DM 5,00**

LICHTORGEL-KOMBINATIONEN
3-Kanal-Lichtorgel, komplett mit Prints, 1 x Hauptschaltung und drei Kanälen, Frequenz auf Wunsch ..... **DM 64,80**

PE-MODUL-SERIE HI-FI
Gehäuse aus Al-Profilen, mit Gleitmutterkanälen zur Aufnahme der auf die Frontplatte montierten Module, mit kompletter Rückwand
PE-GSA 30 (30 cm breit) .. **DM 44,65**
PE-GSA 50 (50 cm breit) .. **DM 59,90**
50 Gleitm. in Kunststoff .. **DM 5,90**
50 Kreuzschlitzschrauben .. **DM 2,95**

Bausätze enthalten stets alle Teile zur Bestückung von Platine und Frontplatte gem. der jeweiligen Stückliste in PE

50-Watt-Verstärker Bauteile einschl. Netzteil für beide Kanäle, sonst mono lt. Stückliste
in PE 3 (Jan. 77) ..... **DM 106,70**
orig. Platine ..... **DM 10,95**
Baut. f. zweiten Kanal .. **DM 57,50**
Frontpl. schw. o. silber **DM 11,95**

Neuheiten aus diesem Heft: Preise und Liefermöglichkeiten auf Anfrage.

MESSMODULE

Messmodule **Sinusgenerator** Alle übrig. Module ab Lager lieferbar

Kompletter Bausatz mit Bauteilen, orig. P.E.-Platine und Frontplatte **DM 54,00**
Komplettpreis=Sparpreis, hier . DM 4,90
Einzelpreise lt. Anzeige in P.E.4/78.

Rechteckzusatz
komplettes Bauteilesortiment incl. P.E.-Platine und Frontplatte **DM 33,85**
Einzelpreise lt. Anzeige in P.E.4/78.

Digital-Voltmeter
bestehend aus Bauteilen für DVM-Modul und DC-Volt Vorteiler einschl. beider Platinen und Frontplatten orig. P.E.
PE 0678-31 ..... **DM128,00**
auch einzeln erhaltlich: **DM74,50**
Baut. DVM-Modul PE0678-32
Baut. DC-Volt PE0678-33 **DM12,90**
Platinensatz DVM-Modul und DC-Volt PE0678-34 **DM19,35**
Frontplatte DVM PE0678-35 **DM19,50**
Frontplatte DC-Volt PE0678-36 **DM9,15**

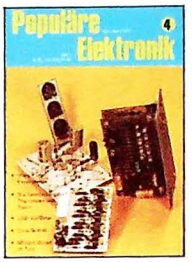
Ohm-Vorsatz
Kompletter Bausatz mit Bauelementen, P.E.-Platine und Frontplatte
PE 0778-11 ..... **.DM 32,50**
Bauteile einzeln PE 0778-12. . . **.DM 15,90**
Orig. PE-Platine PE 0778-13 . . . . **DM 7,85**
Frontplatte PE 0778-14 ..... **.DM 10,20**

Die »Alten«

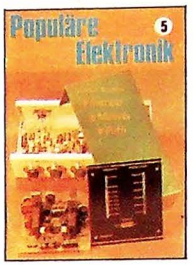
Ausgaben von **Populäre Elektronik** enthalten zahlreiche Baubesc[illegible] noch interessant sind.
Die nachfolgenden Ausgaben können noch geliefert werden.

1/76 FBI-Sirene das Signalhorn der US-Polizei **Transitest** Halbleitertester mit einfachster Bedienung — **Electro-Toto-Würfel** Elektronik-Spiel

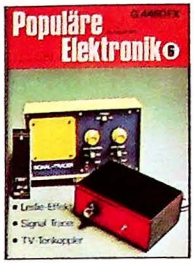
3/77 **50 Watt-Modul** als NF-Endverstärker der HiFi-Modulserie — **Die totale Uhr** · Digitaluhr mit fast allen Möglichkeiten **Die Kassette im Auto**



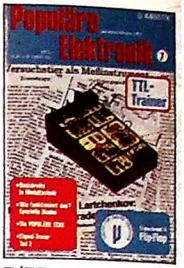
4/77 **Codeschloß** mit leicht veränderbarem Code — **LED-VU-Meter** in Modultechnik — verschiedenfarbene LEDs zur Aussteuerungsanzeige (Stereo)



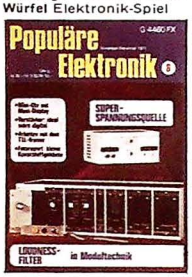
5/77 **Minimix** batteriebetriebenes Mischpult 2xStereo, 1 x Mikro (mono) mit Panorama — **Tremolo** In Modultechnik — **Puffi** Eintransistor-Pufferstufe (Stereo)



6/77 **Leslie** in Modultechnik Zusatz zum Tremolo-Modul — **Signal-Tracer** Kombination Signalspritze/Signalverfolger — **TV-Tonkoppler**

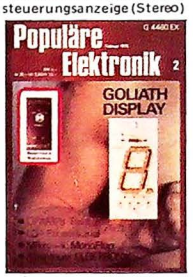


7/77 **TTL-Trainer** ein kleines Digital-Labor für den spielenden Einstieg in diese Technik — **Basisbreite** in Modultechnik mit Super-Stereo

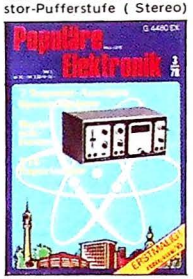


8/77 **Superspannungsquelle** Null bis 28 V/1,5 A Strombegrenzung — **Loudness-Filter** in Modultechnik — **Mini-Uhr mit Maxi-Display**

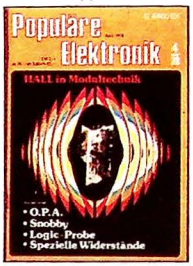
1/78 **Sinusgenerator** in **Modultechnik** das erste Meßplatz-Modul — **Die n-Kanal-Lichtorgel** beliebige Kanalzahl, **Lichtdimmer**



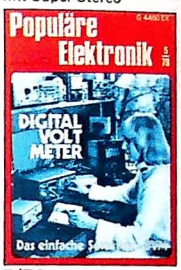
2/78 **Goliath - Display** Ziffernhöhe 38 mm — **Pausenkanal** für die n-Kanal-Lichtorgel — **Rauschfilter** in Modultechnik, mit 3 Eckfrequenzen



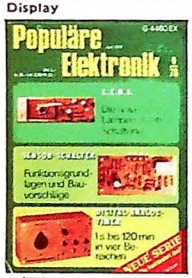
3/78 **Rechteck-Former** in Modultechnik, Zusatz zum Sinusgenerator — **Spannungslupe** Meßbereicherweiterung für Vielfachinstrumente



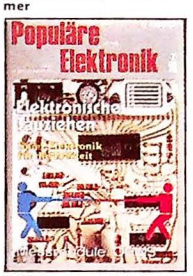
4/78 **O.P.A.** Operational Power Amplifier, **Snobby** Klatschschalter mit Programmsteuerung **Hall** Modul **Logic-Tester** zeigt H,L,O



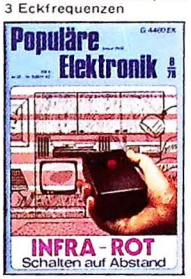
5/78 **Peace-Maker** Zahl/Adler-Zufallsgenerator — **Digital-Meter** zentrale Einheit im modularen Meßplatz — **DC-Volts** Zusatz zum Digital-Meter



6/78 **L.E.D.S.** Leuchtenüberwachung im Auto — **Einpunktsensor** erweiterungsfähiges System — **Digital-Analog-Timer** 1 Sekunde bis 2 Stunden

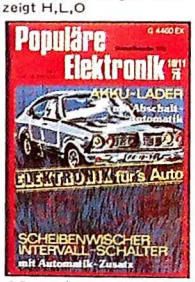


7/78 **Elektronisches Tauziehen** Reaktionstest als Zeitvertreib **OHMS** Widerstands- Meßzusatz zum Digital-Meter — **Würfeln mit Goliath**



8/78 **Zener-Tester** für schnellen Z-Dioden-Test **H.E.L.P.** handlicher Experimentierprint **Infrarot-Sender** und **Infrarot-Empfänger**, störsicher

9/78 **Schwesterblitz** macht jedes Blitzgerät zum Zweitblitz-Syndiatape Diavertonung auf Kassette **Das kontaktlose Relais** Elektronik ersetzt Mechanik



10-11/78 **Intervallschalter** für den Scheibenwischer — **Automatik-Zusatz** startet den Schalter bei Regen **Auto-Akkulader** — **Regensonde** mit akustischem Signal

12/78 **Monitor-Verstärker** 2x3 Watt-Zwischenverstärker zur Pegelanpassung — **Power-Blinkzentrale** für Modellbau **Netzteil für HiFi-Module 25 V stab. + 30 V unstab.**

Populäre Elektronik
Abteilung Heftnachbestellung
Postfach 760264, 2000 Hamburg 76

Anz./Heft-Nr.:
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

(Bitte deutlich schreiben)

Name:.....
Straße:.....
PLZ Ort:.....

So wird bestellt:
Coupon ausfüllen,
DM 3,00 Heft
in Briefmarken,
bar oder
als V-Scheck
beilegen und alles an
nebenstehende
Adresse senden.

Nicht vergessen!

Die stabile
und repräsentative
Sammelmappe für Ihre
älteren Ausgaben von
Populäre Elektronik

Farbe: Rot, Preis: DM 10,80
Bitte benutzen Sie bei einer
Bestellung ebenfalls den
nebenstehenden Coupon und
fügen DM 10,80 bei.